

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOAND OULHADJE-BOUIRA



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département : Génie Mécanique

Mémoire de fin d'étude

Présenté par :

Ladjal Zinne Eddine

Yahiaoui Lazazi

En vue de l'obtention du diplôme de **Master 02** :

Filière : GENIE MECANIQUE

Option : Energétique

Thème :

Conception et réalisation d'un capteur solaire plan à air

Devant le jury composé de :

Nom et prénom	Grade	UAMOB	Président
Nom et prénom	Bouragbi LAKhdar	UAMOB	Encadreur
Nom et prénom	Grade	UAMOB	Examinateur
Nom et prénom	Grade	UAMOB	Examinateur

Année Universitaire 2019/2020

Dédicace

*Nous dédions ce travail à nos chers parents
Et nos chers frères et nos sœurs
également tous les étudiants du génie
Mécanique énergétique Master 2.*

*A Tous nos enseignants du département de
génie mécanique et spécialement notre
encadreur Bouragbi Lakhedar.*

Remerciements

Nous remercions ALLAH de nos avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme ce présent travail.

Nous exprimons mes gratitudes, mes reconnaissances et mes sincères remerciements à Bouragbi Lakhdar pour m'avoir encadré tout le long de mon projet.

Nous remercions en particulier Mr Bouragbi Lakhdar pour ses conseils, ses remarques et surtout ses critiques si objectives

Nous remercions tous les enseignants du département de Génie Mécanique qui ont m'enseigner

En fin, Tous nos remerciements à toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste projet

Résumé

Résumé :

Les travaux présentés concernent la conception et la réalisation d'un capteur solaire monocanal à air plat entre l'absorbeur et la couverture transparente, fonctionnant en convection naturelle.

En raison du virus Corona et de l'épidémie qui se propage dans le monde, nous n'avons pas pu réaliser le collecteur d'air solaire. Et pour ce dilemme impuissant qui n'a pas d'astuce, nous avons fait des calculs et les avons comparés avec des capteurs solaires précédemment appliqués, et nous en avons conclu que pour améliorer l'efficacité du capteur, nous Vous devez choisir un couvercle en verre ordinaire d'une épaisseur de 4 mm et d'une épaisseur d'isolation de 100 mm

Abstract :

The work presented relates to the design and construction of a single-channel flat-air solar collector between the absorber and the hood, operating in forced convection.

Due to the Corona virus and the epidemic spreading around the world, we were unable to perceive the solar air collector For this helpless dilemma, we performed some calculations and compared them to previously applied solar collectors, and concluded that in order to improve collector efficiency, we must choose a hood. It is made of regular glass 4 mm thick and 0.8 mm thick copper.

ملخص:

يتعلق العمل المقدم بتصميم و بناء مجمع شمسي للهواء المصطح احادي القناة بين جهاز الأمتصاص و الغطاء , ويعمل في الحمل الحراري القسري .

بسبب فيروس كورونا و الوباء المنتشر حول العالم , لم نتمكن من ادراك مجمع الهواء الشمسي . و لهذه المعضلة التي ليس لها حيلة , قمنا بأجراء بعض الحسابات و مقارنتها بمجمعلت الطاقة الشمسية المطبقة مسبقا , وخلصنا الى انه من اجل تحسين كفاءة المجمع , يجب علينا اختيار غطاء شفاف مصنوع من الزجاج العادي بسمك 4 مم و طبقة عازلة بسمك

100 مم .

SOMMAIRE

Dédicace

Remercîment

Sommaire

Introduction générale

Introduction générale 01

Chapitre 1 : Etude bibliographique sur l'énergie solaire

1-Introduction	02
I.2 Aspect géométrique	02
I.2.1 Soleil	02
I.2.2. Terre	02
I.2.3 Sphère céleste	03
I.3 Les rayonnement	04
I.31 Rayonnement Solaire	04
I.3.1.1 Constante solaire	04
I.3.2 Rayonnement direct	05
I.3.3 Rayonnement diffus	05
I.3.4 Rayonnement global	05
I.4 Différents modes de transfert de chaleur	06
I.4.1 Conduction	06
I.4.2 Convection	07
I.4.2.1 Convection forcée	07
I.4.2.2 Convection naturelle	07
1.4.3 Rayonnement	07

I.5 Les types de conversion des d'énergie solaire	08
I.5.1 Solaire Thermique	08
I.5.2 Solaire Thermodynamique	08
I.5.3 Solaire Photovoltaïque	08
I.6 Gisement solaire	09
I.6.1 Gisement solaire mondial	09
I.6.2 Gisement solaire en Algérie	10
I.7 Domaine d'utilisation d'énergie solaire	11
I.7.1 Les panneaux solaire thermique	11
I.7.2 Les centrales solaires thermodynamiques	11
I.7.3 Les panneaux solaires photovoltaïques	12
I.8 Les type des capteurs Solaires	13
I.8.1 Capteurs à concentration	13
I.8.1.1 Capteur cylindro-parabolique	13
I.8.1.2 Capteur parabolique	13
I-8-1-3 Cheminée solaire	14
I.8.1.4 Cuiseurs solaires	14
I-8-2 Capteurs solaires plan (non concentration)	15
I.8.2.2 Capteur solaire plan à air	15
I-9 Caractéristique du site d'installation du capteur solaire a air	16
I-9-1 site d'emplacement « Bouira »	16
I.9.2 Le climat	17
I.9.3 La température	17
I.9.5 Le rayonnement solaire	17
I.9.6 Le vent	18

Chapitre 02 Description paramètre de conception du Capteur Solaire à aire

2.1 Définition	19
2.2 Les composantes d'un capteur solaire à aire	19
2.2.1 Absorbeur	19
2.2.2 Fluides caloporteurs (Air)	20
2.2.3 Vitrage	20
2.2.4 Isolants thermiques	20
2.2.5 Coffre ou la cadre	21
2.3 Angle d'orientation et d'inclinaison	21
2.4 Paramètres de conception	21
2.4.1 Paramètres du lieu d'emplacement	21
2.4.2 Orientation et inclinaison	21
2.4.3 Dimension du capteur	22
2.4.4 En cas de circulation non naturelle	22
2.4.5 Paramètres mesuré pendant le fonctionnement du capteur solaire a air	22
2.5 Un dessin qui présente les dimensions nécessaire du capteur	22
2.6 -Principe de fonctionnement	23
2.6.1 Principe de captation du rayonnement solaire	23
- Corps noir	23
-Effet de serre	23
2.7 Bilan thermique	24
2.7.1 Bilan thermique global	24
2.7.2 Rendements d'un capteur solaire	26
2.8 Bilans thermiques des différents constituants	27
2.8.1 Capteur solaire couvert de type 1	27

2.8.2 Hypothèses simplificatrice	27
2.8.3 Pertes thermiques vers le haut	28
2.8.4 Pertes thermiques vers le bas	29
2.8.5 Pertes thermiques totales	30

Chapitre 03 Calcule des paramètres du capteur solaire à air

3.1. Introduction	34
3.2. Calcul des paramètres du capteur	34
3.2.1. Calcul de la puissance absorbée par le capteur	34
3.2.2. Calcul des coefficients de perte de chaleur vers le haut	34
3.2.3. Calcul des coefficients de perte de chaleur vers le bas	39
3.2.4 Calcul les pertes thermiques totales	40
3.2.4 Calcul des résistances thermique	40
La quantité de chaleur utile	42
3.2.5 Calcul de la température de l'air à la sortie du capteur solaire	42
3.2.6 Calcul des rendements	42
3.3Influence du débit sur la température de sortie de l'air	43
3.4 Comparaison entre les différents absorbeurs (cuivre et acier) :	44
3.5 Comparaison entre les rendements :	46
Conclusion	48
Conclusion général	49
Liste des tableaux	50
Listes des figures	51
Références bibliographiques	53
Nomenclatures	57
Résumé	60



Introduction Générale:

Introduction générale :

Les énergies renouvelables se présentent comme alternatives aux énergies conventionnelles qui se font rare de jour en jour et ceci vu la consommation excessive des pays industrialisés. L'énergie solaire vient en premier lieu pour répondre à ce défi auquel toute l'humanité doit faire face. L'énergie renouvelable est une source d'énergie qui se renouvelle assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle de l'homme. Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le Soleil (rayonnement), mais aussi la Lune (marée) et la Terre (énergie géothermique).

L'énergie solaire est l'énergie que dispense le soleil par son rayonnement, directement ou de manière diffuse à travers l'atmosphère. Sur Terre, l'énergie solaire est à l'origine du cycle de l'eau et du vent. Le règne végétal, dont dépend le règne animal, l'utilise également en la transformant en énergie chimique via la photosynthèse. A l'exception de l'énergie nucléaire, de la géothermie et de l'énergie marémotrice, l'énergie solaire est à l'origine de toutes les énergies sur terre. Grâce à divers procédés, l'énergie solaire peut être transformée en une autre forme d'énergie utile pour l'activité humaine, notamment en chaleur, en électricité ou en biomasse. Par extension, l'expression « énergie solaire » est souvent employée pour désigner l'électricité ou la chaleur obtenue à partir de cette dernière.

Un des outils utilisés pour exploiter l'énergie solaire est le capteur à air qui peut être utilisé dans beaucoup d'applications nécessitant des températures basses et modérées, telles que le chauffage des locaux, le séchage des produits agricoles, le séchage du bois, le séchage des briques, etc...

Notre mémoire comporte trois chapitres :

- ✓ **Premier chapitre** : comporte une étude bibliographique sur l'énergie solaire est une bref vue sur les domaines d'applications ainsi que les types des capteurs solaire.
- ✓ **Le deuxième chapitre** : comprend la description de la conception de notre capteur solaire et sa réalisation.
- ✓ **Le troisième chapitre** : présente les essais de notre capteur et la comparaison de ces importantes paramètres (tel-que le rendement et la température de sortie) avec les autres capteurs a air existant dans le marché ou réalisé par des chercheurs dans ce domaine.

Chapitre 1 : Etude bibliographique sur l'énergie solaire

1-Introduction : Dans ce chapitre, nous expliquons comment l'énergie solaire est la principale source d'énergie renouvelable, comment l'utiliser de manière positive et comment nous pouvons en bénéficier au lieu de sources d'énergie non renouvelables.

I.2 Aspect géométrique :

I.2.1 Soleil :

Le soleil fait partie d'un système stellaire d'environ 340 milliards d'étoiles. La plupart d'entre eux sont concentrés dans une région en forme de disque bordée par des bras sortant d'un noyau central. Il occupe une position océanique 28 000 années-lumière du centre, en orbite à une vitesse de 225 km / s, Il révolutionne en 300 millions d'années. C'est l'étoile centrale de notre système planétaire, qui tourne autour de lui dans l'état actuel de nos connaissances sur 7 planètes, 5 des planètes naines et des millions d'astéroïdes. Il contient plus de 99,8% de la masse totale du système solaire.

Le soleil est actuellement composé à 75% d'hydrogène, 25% d'hélium en masse, 92,1% d'hydrogène et 7,8% d'hélium avec le nombre d'atomes. Tous les autres éléments ne représentent pas plus de 0,1%. Ces nombres diffèrent lentement lorsque le soleil convertit l'hydrogène en hélium en interagissant avec la fusion nucléaire. [1]

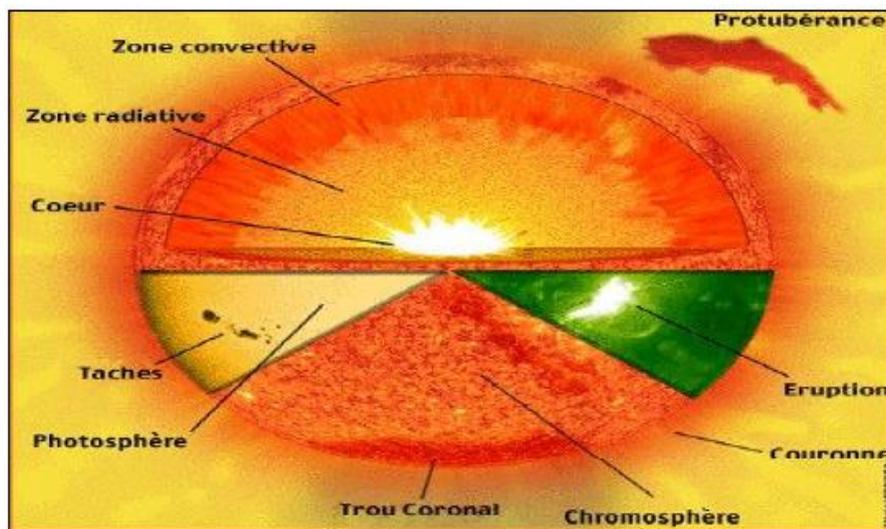


Figure (I-1): Couches externes du Soleil

I.2.2. Terre :

La terre a la forme d'un ellipsoïde de révolution aplati. Sa superficie est de 510101.103 Km², son volume est égale à 1083320.106 Km³, sa masse vaut 6.1021 tonnes et sa densité moyenne est de 5.52.

La terre décrit autour du soleil une ellipse presque circulaire Figure (I-2). Elle est située dans un plan appelé écliptique. L'axe de rotation terrestre fait un angle de 23,0°

27' ce qu'on appelle déclinaison. L'intersection du plan de l'équateur avec le plan l'écliptique définit la ligne des équinoxes. L'intersection de cette ligne avec l'orbite terrestre, lors de l'équinoxe de printemps définit le point vernal celui-ci est pris comme origine pour le celui des angles définissant la position relative du soleil par rapport à la terre. [2]

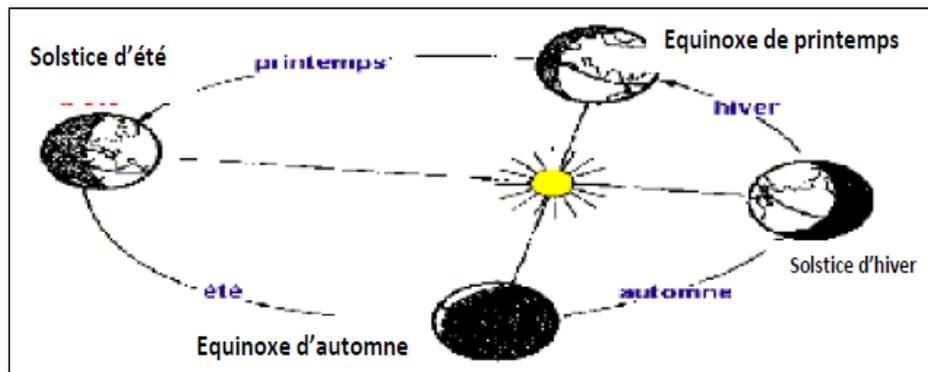


Figure (I-2): Mouvement annuel de la terre autour du soleil

I.2.3 Sphère céleste :

La sphère céleste est une sphère imaginaire de rayon indéfini, établie dans les cieux et ayant comme centre l'œil d'un observateur terrestre. La sphère est la base du système de coordonnées employé pour déterminer les positions des astres. Elle est également utilisée pour désigner les intervalles de temps. Figure (I-3) [3]

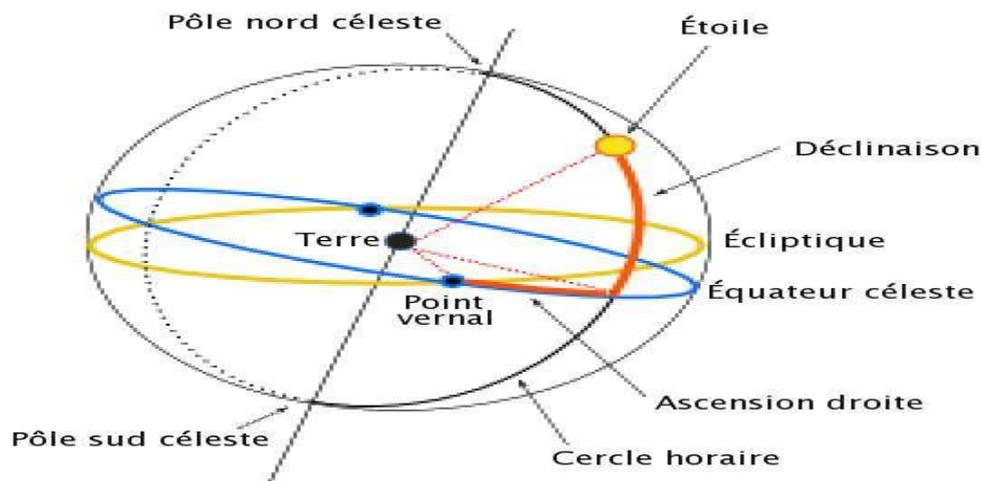


Figure (I-3) : Sphère céleste

- Zénith :

Est le point où la verticale ascendante d'un lieu rencontre la sphère céleste. [3]

- Nadir

Est le point de la voute céleste qui se trouve sur sa verticale de l'observateur et directement sous ses pieds (le point opposé s'appelle zénith).[3]

- Méridien

Plan défini par la vertical et parallèle à l'axe de rotation de la terre. Ou bien demi grand cercle de la surface terrestre ou de la sphère céleste limite au pôle.[3]

I.3 Les rayonnement :

I.3.1 Rayonnement Solaire :

Le rayonnement est le transfert d'énergie par les ondes électromagnétiques. Le rayonnement se produit direct de la source vers l'extérieur dans toutes les directions. Ces rayonnements n'ont pas besoin d'un milieu pour traverser l'espace interplanétaire et atteindre la terre du soleil, ils sont l'avantage de se déplacé dans le vide.

La longueur d'onde et la fréquence des ondes électromagnétiques sont des paramètres importants pour déterminer leur énergie, leur vision et leur pouvoir de pénétration. Toutes les ondes électromagnétique (Rayonnement) se déplacent dans le vide à une vitesse de 299 792 km / s. [4].

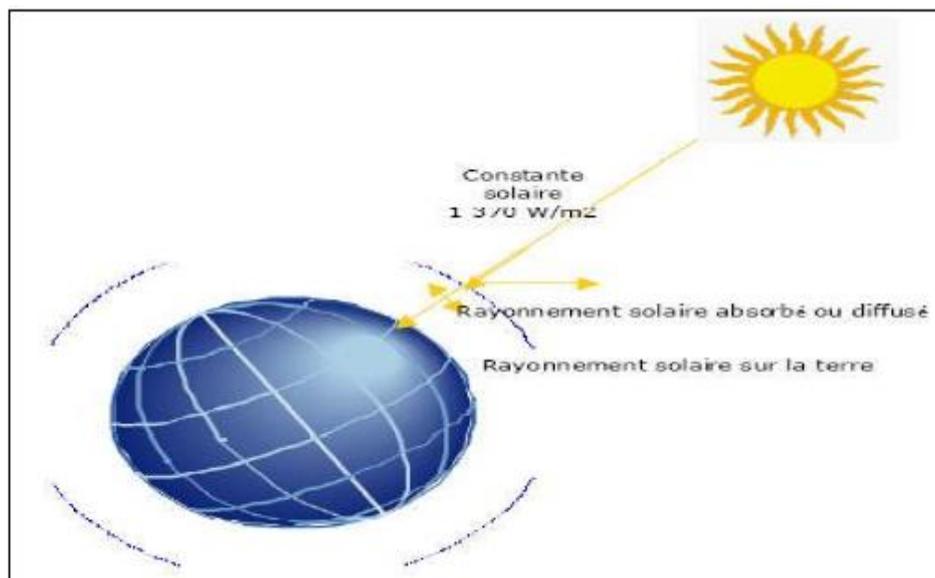


Figure (I-4) : Rayonnement solaire reçu sur la terre

I.3.1.1 Constante solaire :

La valeur du flux de rayonnement solaire reçu par une surface perpendiculaire aux rayons solaire placée a la limite supérieure de l'atmosphère terrestre. Soit à environ 80Km d'altitude, vari au cours de l'année avec la distance terre /soleil. La valeur moyenne est appelée la constante solaire I_c . Cette valeur est environ à 1367W/m². [5]

La relation ci-dessous donne la valeur corrigée de la constante solaire :

$$I_c = I_0 [1 + 0.0034 \cos \cos(30(m - 1) + N)] \quad (I.1)$$

Où :

- $I_0 = 1367 \frac{W}{m^2}$.
- m : Le numéro du mois dans l'année
- N : Le numéro du jour dans le mois.

I.3.2 Rayonnement direct :

Le rayonnement direct est le rayonnement reçu directement du soleil. Il peut être mesuré par un pyréliomètre. Un plan incliné est caractérisé par son inclinaison β (par rapport à l'horizontale), et de son orientation ou azimut α par rapport au sud (négatif vers l'est, sens anti-trigonométrique). [6]

I.3.3 Rayonnement diffus :

Le rayonnement diffus est aussi appelé rayonnement indirect. Le rayonnement solaire diffus représente la portion du rayonnement solaire qui a touché au moins une particule de gaz atmosphérique en modifiant l'angle d'incidence et qui, cependant, atteint le sol car il est dirigé vers elle. Augmente par rapport au total dans le ciel nuageux. En particulier, la diffusion de Rayleigh de la composante bleue du rayonnement solaire est responsable de la couleur bleue du ciel. Une partie du rayonnement diffus est de retour vers l'espace. [7]

En résumé, on fait quoi grâce à l'énergie solaire ?

- ✓ **Le rayonnement direct** : ce sont les **rayons UV du soleil**. C'est ce type de rayonnement qui est utilisé dans les systèmes à concentration (four solaire, centrales solaires thermodynamique et photovoltaïque).
- ✓ **Le rayonnement diffus** : ce sont des **rayons qui proviennent de l'atmosphère**, qu'il fasse beau ou pas. Des rayons lumineux issus du soleil traversent les nuages et se diffusent sur toute la surface de la Terre. Ils contribuent à l'éclairage, mais ne peuvent pas être concentrés (à l'inverse du rayonnement direct) ;
- ✓ **Le rayonnement global** : c'est la somme du rayonnement direct et diffus. C'est celui-ci qui est utilisé pour faire fonctionner les panneaux solaires thermiques et photovoltaïques (systèmes sans concentration). [16]

I.3.4 Rayonnement global :

Le rayonnement global (G) est la somme des rayonnements diffus et direct :

$$G = G_{dir} + G_{dif} \quad (I.2)$$

La somme du rayonnement solaire direct (G_{dir}) et du rayonnement diffus G_{dif} constitue le rayonnement solaire global (G). Le rayonnement solaire global est composé de rayonnement de différentes longueurs d'onde et Intensités. [8]

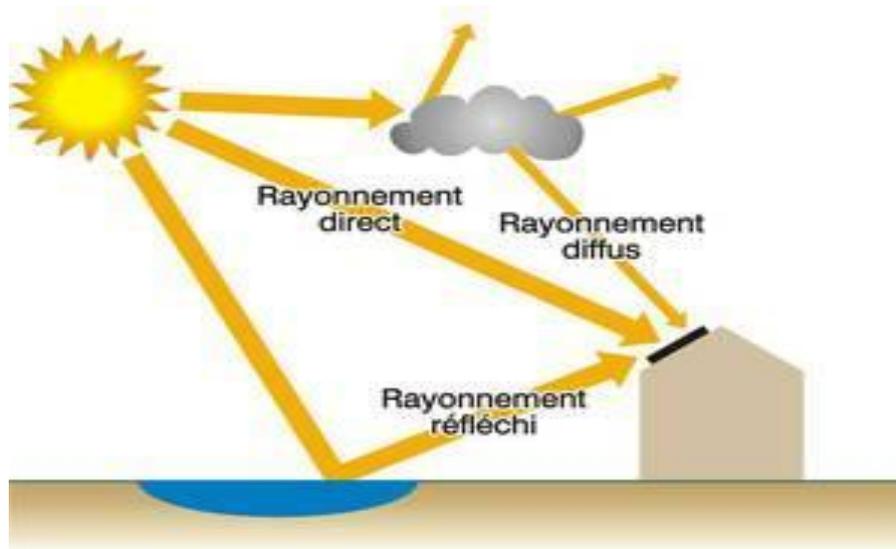


Figure (I-5) : Rayonnement Solaire Global

I.4 Différents modes de transfert de chaleur :

Une partie du rayonnement incident absorbé par le corps est partiellement ou complètement chauffée. Ou, lorsque les différentes parties d'un support physique sont différentes.

Le mouvement de chaleur, passant des régions où la température est plus élevée à celles où elle est basse. L'effet de ces migrations de chaleur atténue différences de température de sorte que si elles ne sont pas préservées, par exemple par combustion ou rayonnement incident (comme la lumière solaire), le milieu tend vers un état d'équilibre dans lequel la température est partout la même. Les phénomènes de transfert de chaleur sont divisés en trois catégories: **convection**, **conduction** et **rayonnement**. Comme mentionné précédemment, tout objet chaud émet à son tour un rayonnement dans la plage infrarouge (pour des températures normales); Cette énergie rayonnante dépend de la température du corps mais aussi d'un coefficient spécial de la couche superficielle du corps, appelé Facteur d'émission de surface.

Le corps chauffé peut également transmettre sa chaleur par conduction, ou par convection, d'un fluide, liquide ou gazeux, qui, suite à son réchauffement, se déplace et accélère ainsi le processus de refroidissement. C'est sur base de ces trois types de transmission de chaleur que fonctionnent tous les systèmes de récupération d'énergie solaire de type thermique et ce, à partir de la chaleur qui a pu être accumulée dans un corps solide soumis à l'ensoleillement et servant de capteur. Les deux premiers modes de transmission (convection et conduction) permettent de faire passer la chaleur dans un fluide dit « Caloporteur » (porteur de chaleur). [4]

I.4.1 Conduction :

La conduction est le mode de transfert de chaleur caractérisé par la propagation de l'énergie thermique dans un milieu matériel sans déplacement de la matière

La loi correspondant à ce processus de diffusion thermique est la loi de Fourier donnée par la relation : [8]

$$q = K . A . grad(T) \quad (I.3)$$

Ou

- q : flux de chaleur. [W]
- k : coefficient de conductivité thermique. [W/m.k]
- A : surface d'échange. [m^2]

I.4.2 Convection

La convection est un transport d'énergie dû à des mouvements macroscopiques, on distingue deux types de convection : [9]

I.4.2.1 Convection forcée :

Le mouvement du milieu est engendré par un dispositif externe (le vent, une pompe, un ventilateur...ext).

I.4.2.2 Convection naturelle :

Le mouvement du fluide est engendré par les variations de densité causées par des variations de température au sein du fluide.

Le transfert thermique convectif est régi par la loi de Newton :

$$q = hS . (T_p - T_f) \quad (I.4)$$

- q : Le flux échangé par convection. [W]
- h : Coefficient de convection. . [$W/m^2.k$]
- S : Surface de la paroi solide en contact avec le fluide. . [m^2]
- T_p : Température de la paroi solide. . [k]
- T_f : Température du fluide. [k]

1.4.3 Rayonnement :

Le transfert de chaleur par rayonnement à lieu lorsque de l'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques est émise par une surface et absorbée par une autre. Cet échange peut avoir lieu lorsque les corps sont séparés par le vide ou par n'importe quel milieu intermédiaire suffisamment transparent pour les ondes électromagnétiques. [7]

La loi fondamentale du rayonnement est celle de Stefan-Boltzmann:

$$q = \varepsilon \sigma T^4 \quad (I.5)$$

Ou

- q : densité de flux de chaleur émis par le corps.
- ε : émissivité thermique du matériau
- σ : constante de Stefan-Boltzmann évaluée à $5,6.10^{-8} W/m^2.K^4$.
- T : température absolue du corps [K]

Dans un capteur solaire plan le transfert par rayonnement s'effectue entre :

- ✓ La vitre et l'absorbeur.

- ✓ La vitre et le ciel.
- ✓ L'isolant et le sol.

I.5 Les types de conversion des d'énergie solaire :

L'énergie solaire est facile à utiliser et non polluante, c'est l'énergie renouvelable la plus utilisée et est représentée dans plusieurs énergies dont:

Énergie thermique, thermodynamique, photovoltaïque, l'énergie solaire se décline en différents types.

I.5.1 Solaire Thermique:

Le thermique solaire est un procédé de transformation de l'énergie solaire en une forme thermique, qu'on peut utiliser:

- En usage direct de la chaleur: chauffe-eau solaire, chauffage solaire, cuisinière et séchoir solaire.
- En usage indirect toute la chaleur sert pour un autre usage : centrales solaires thermodynamiques, froid solaire. [10,11]

I.5.2 Solaire Thermodynamique:

La thermodynamique utilise le solaire thermique pour produire de l'électricité Selon le même principe qu'une centrale électrique classique mais en utilisant des centrales hélio-thermo électriques. [10,11]

Trois types principaux de centrales sont utilisés [10] :

- Centrales à capteurs cylindro-paraboliques
- Centrales à capteurs paraboliques
- Centrales à tour

I.5.3 Solaire Photovoltaïque:

Elle permet de produire de l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire avec une cellule photovoltaïque. [10]

Les photopiles utilisent l'effet photovoltaïque, elles sont formées d'une couche d'un matériau semi-conducteur et d'une jonction semi-conductrice. Le silicium est le plus employé; cependant, l'arséniure de gallium offre des meilleures performances, mais reste beaucoup plus ornée.

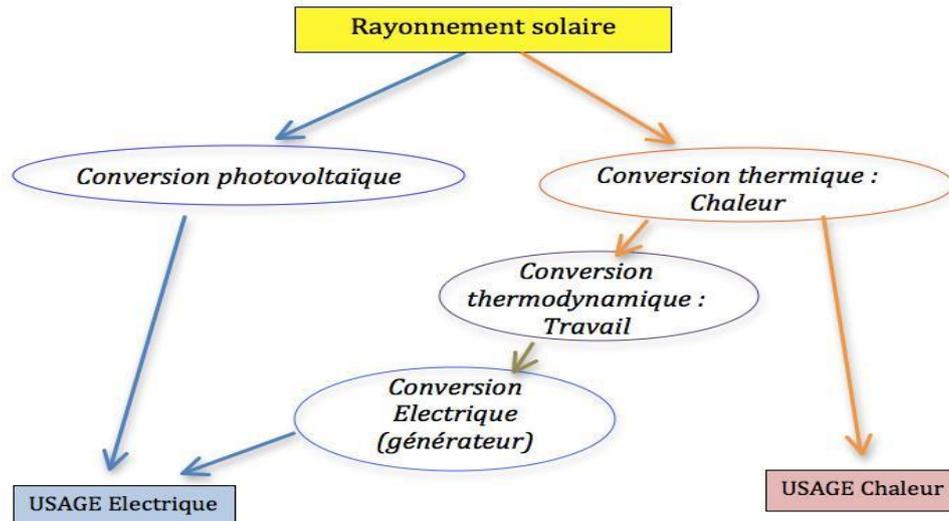


Figure (I-6) : Transformation des Rayonnement solaire

I.6 Gisement solaire:

C'est la quantité d'énergie totale envoyée par le soleil à la limite de l'atmosphère Terrestre sur une surface unité perpendiculaire au rayonnement solaire. [12]

I.6.1 Gisement solaire mondial: Les régions désertiques, situées dans des latitudes proches de l'équateur, sont les plus adaptées à l'énergie solaire. Certains pays développés proches de ces régions commencent à exploiter cette énergie, grâce à divers processus, notamment des condensateurs solaires. Les zones où le rayonnement solaire est particulièrement important permettront la création d'un site de production d'électricité à grande échelle. [22].

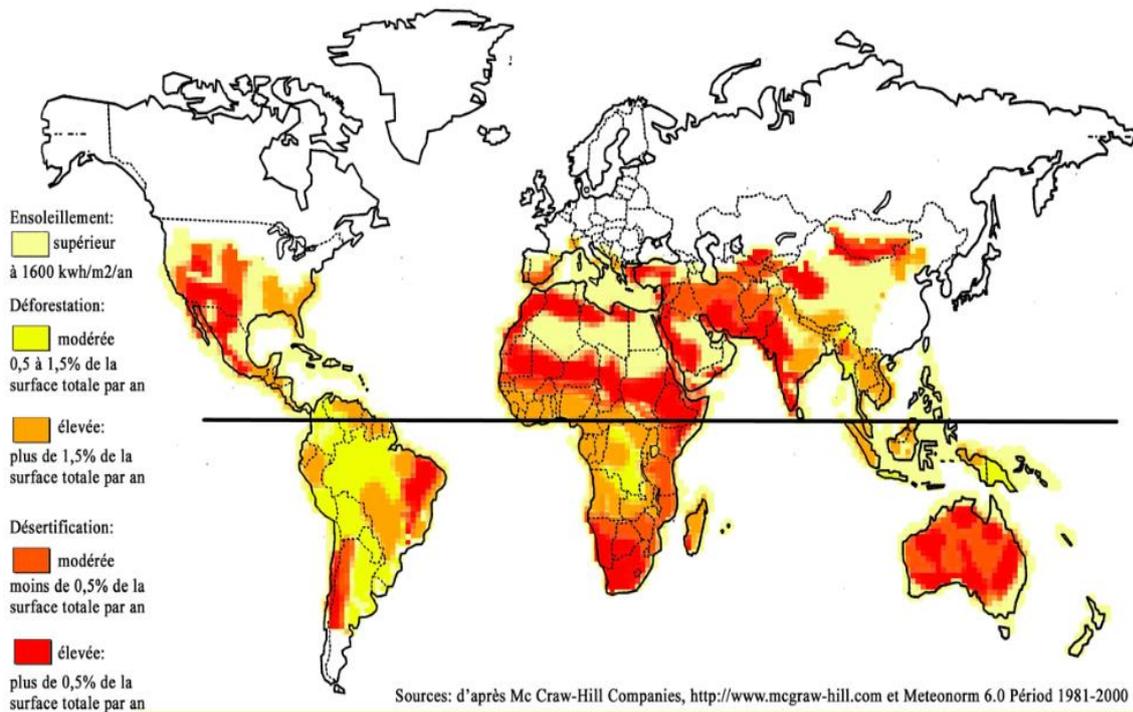


Figure (I-7) : Zone du monde prioritaire pour le développement de gisement solaire

I.6.2 Gisement solaire en Algérie:

L'Algérie est en effet l'un des plus importants gisements d'énergie solaire au monde avec une durée d'insolation de 2.000 à 3.900 heures par an, et une irradiation journalière de 3.000 à 6.000 Wh/M2, soit l'équivalent de 10 fois la consommation mondiale. [13]

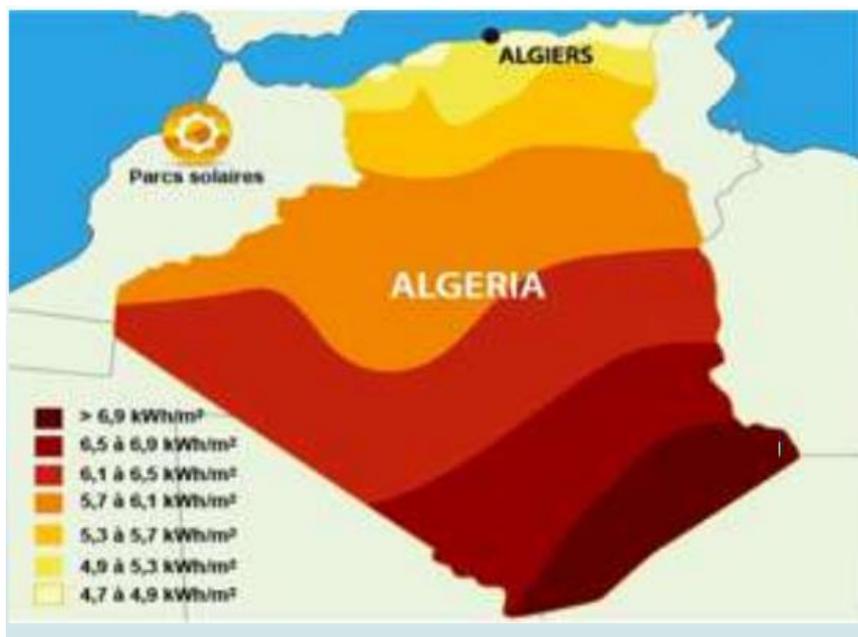


Figure (I-8) : Carte du gisement solaire Algérien source CDER

I.7 Domaine d'utilisation d'énergie solaire :

Pour collecter l'énergie du soleil, des panneaux thermiques ou photovoltaïques doivent être installés. Ces deux systèmes collectent respectivement la chaleur et la lumière du soleil. La première installation profite de la chaleur solaire pour l'exploiter dans n'importe quel système qui nécessite la chaleur comme source d'énergie. La deuxième solution convertit la lumière du soleil en courant électrique pour l'utilisation directe. Ces deux champs d'application s'enregistrent dans le domaine d'utilisation active de l'énergie solaire.

Il existe une autre utilisation potentielle de l'énergie solaire: également appelée utilisation passive. Autrement dit, l'énergie est utilisée telle quelle et n'est soumise à aucune transformation. Il n'y a pas besoin d'équipement à emporter. [14]

Nous pouvons brièvement passer en revue certaines des applications solaires suivantes :

I.7.1 Les panneaux solaire thermique :

La chaleur du Soleil peut être utilisée de manière directe pour chauffer un réservoir d'eau, sécher du linge (évaporation) ou tempérer les parois d'une maison. C'est le principe utilisé par les panneaux solaires thermiques qui sont placés sur les toits ou les façades des maisons. En transitant par les panneaux solaires, l'eau est réchauffée par le Soleil, puis utilisée sur place, pour le chauffage ou l'eau sanitaire du bâtiment. [15]

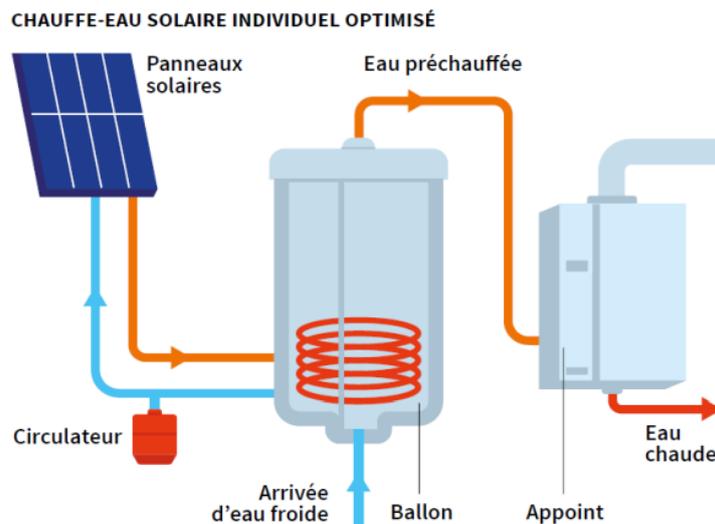


Figure (I-9) : Panneau solaire thermique

I.7.2 Les centrales solaires thermodynamiques:

Ces grandes installations sont équipées d'immenses miroirs paraboliques, sphériques ou plats, qui suivent la course du soleil pendant la journée. Ils permettent de concentrer les rayons pour chauffer un liquide qui restera chaud même après le coucher du Soleil, de l'huile par exemple. C'est une manière de stocker l'énergie qui servira à chauffer l'eau, dont la vapeur fera tourner des turbines pour produire de l'électricité.

Ce type d'installation est assez nouveau. En Europe, il en existe en Espagne, en Belgique, en France ou encore en Suède. [15]

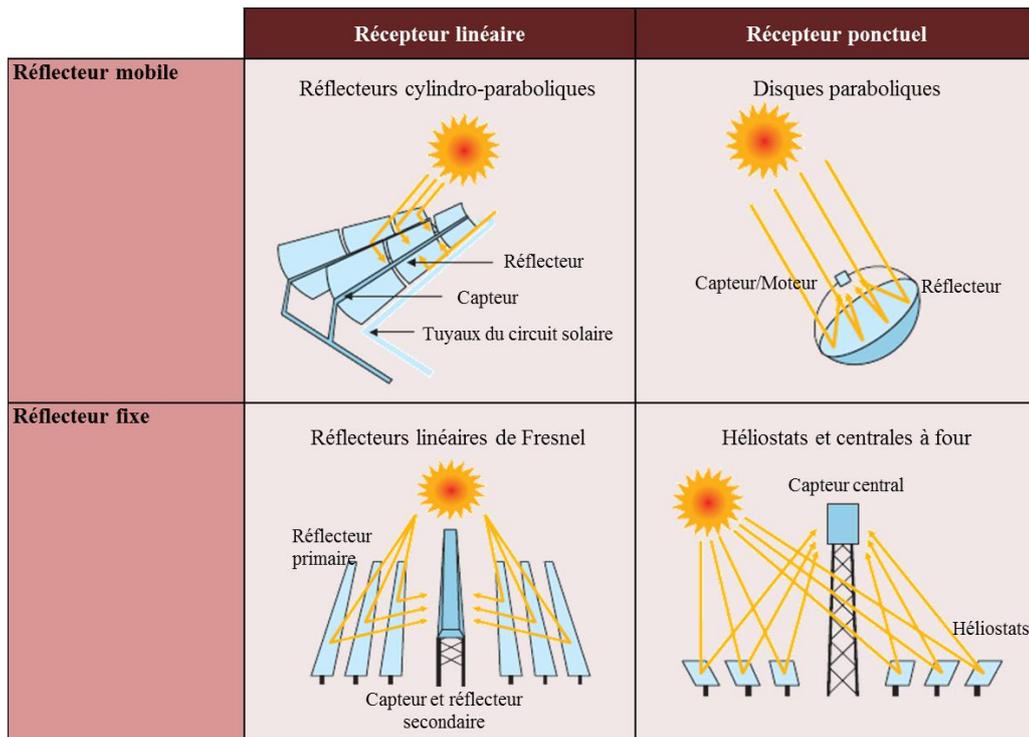


Figure (I-10) : Centrales solaires thermodynamiques

I.7.3 Les panneaux solaires photovoltaïques :

La lumière du Soleil peut être utilisée pour produire de l'électricité. On utilise pour cela des panneaux composés de cellules électroniques qui réagissent aux rayons du Soleil. On parle alors d'énergie solaire photovoltaïque. Ces installations sont de plus en plus répandues dans le monde. [15]

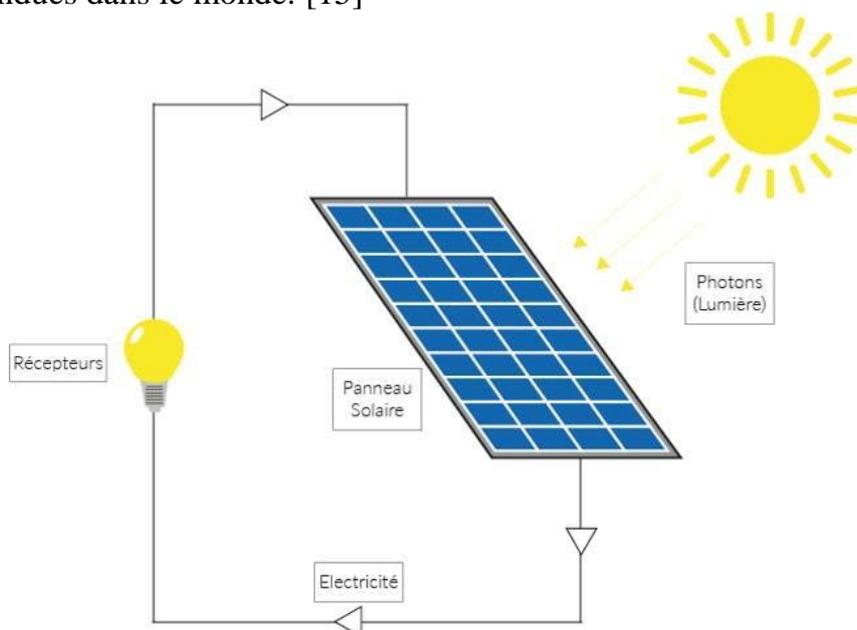


Figure (I-11) : schéma de fonctionnement-panneau-solaire-photovoltaïque

I.8 Les type des capteurs Solaires :

Les capteurs solaires peuvent être classés en deux types : concentration et non concentration. [17]

I.8.1 Capteurs à concentration :

Ces capteurs utilisent des surfaces réfléchissantes (miroirs) paraboliques ou cylindro-paraboliques pour concentrer et localisé les rayons solaires respectivement dans le foyer ponctuel ou dans le foyer linéaire de ces surfaces. Dans le foyer ponctuel ou le long du foyer linéaire se trouvent les récepteurs (absorbeurs) qui captent la chaleur solaire ainsi concentrée. Naturellement ces concentrateurs doivent suivre le mouvement du soleil. [18].

I.8.1.1 Capteur cylindro-parabolique :

Est un capteur à concentration à foyer linéaire utilisant un réflecteur cylindrique de section parabolique .les miroirs cylindro-paraboliques alignés concentrent la chaleur. Le circuit du fluide caloporteur passe au centre de chaque miroir et traverse l'ensemble du champ de capteurs.[19].

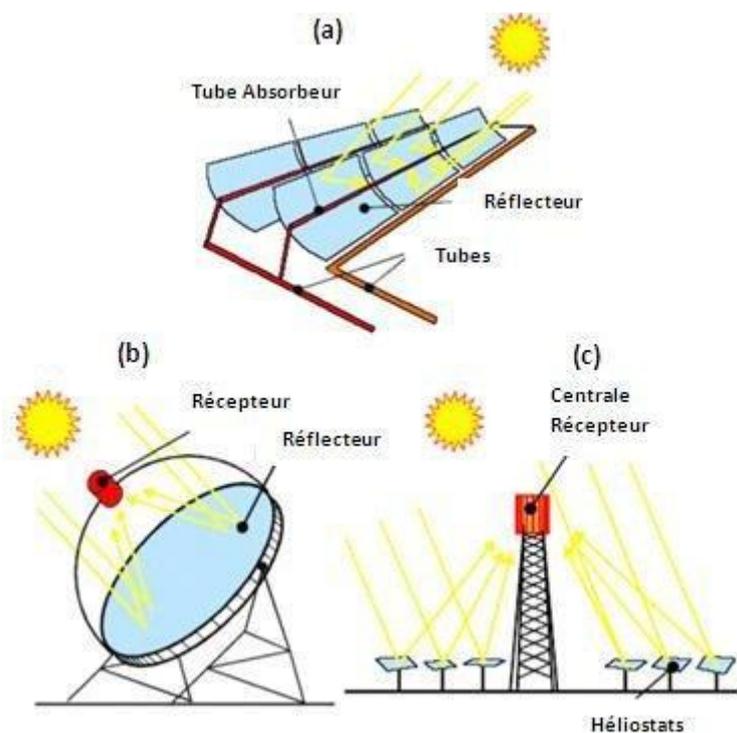


Figure (I-12) : Capteur cylindro-parabolique

I.8.1.2 Capteur parabolique :

Les capteurs paraboliques fonctionnent d'une manière autonome. Ils suivent le soleil sur 2 axes afin de concentrer le rayonnement solaire sur le foyer de la parabole réfléchissante. [19].

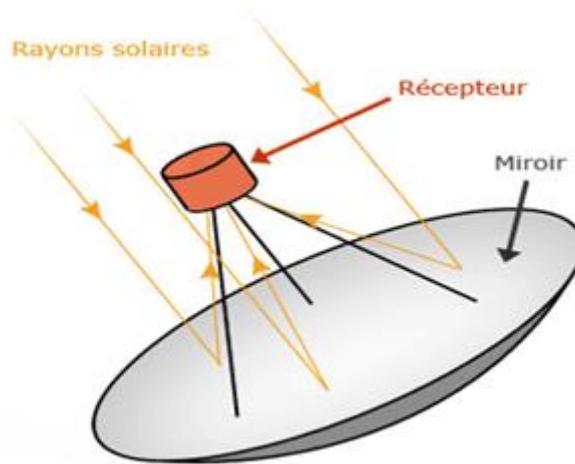


Figure (I-13) : Capteur solaire parabolique

I-8-1-3 Cheminée solaire :

Son fonctionnement se base sur un principe simple : l'air chaud étant plus léger que l'air froid, il s'élève. Une serre gigantesque, le « collecteur », placée tout autour de la cheminée centrale, chauffe l'air grâce au soleil et provoque un vent puissant exploité par des turbines situées à l'embouchure de la cheminée pour produire de l'électricité. [20].

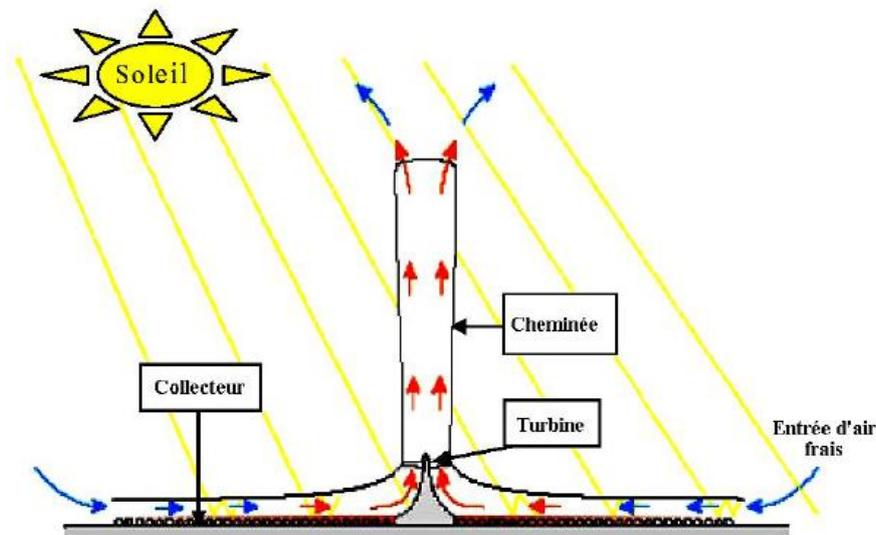


Figure (I-13) : Principe de fonctionnement d'une cheminée solaire

I.8.1.4 Cuiseurs solaires :

Une plaque de carton recouverte d'une feuille d'aluminium et découpée de façon à former une coquille permet déjà d'obtenir l'échauffement d'une marmite (de préférence noire) placée dans un sac en plastique transparent limitant les pertes en chaleur et en vapeur d'eau. [20].

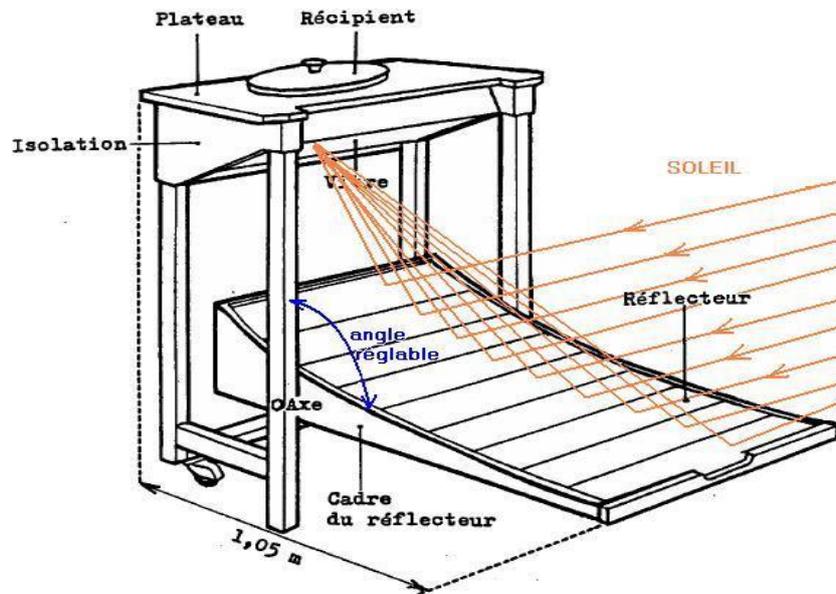


Figure (I-14) :four-solaire-table

I-8-2 Capteurs solaires plan (non concentration) :

Les capteurs a surfaces reçoit directement le rayonnement solaire à partir du soleil, sans accent, et est efficace même quand le blocage de la lumière directe du soleil [21].

Trois fonctions incombent à ces capteurs, absorber le rayonnement solaire, le transformer en chaleur et transmettre cette chaleur au fluide caloporteur. Pour absorber au maximum l'énergie rayonnée du soleil, il suffit d'une surface plane placée de façon judicieuse ; cette surface doit être douée du coefficient d'absorption de la couche superficielle le plus élevé possible. [17].

I.8.2.2 Capteur solaire plan à aire :

Sous un vitrage une plaque noire exposée aux rayons solaires s'échauffe d'autant plus qu'un isolant arrête les pertes arrières de chaleur. A cause de la différence de température entre l'ambiant et l'intérieur du capteur l'air circule entre le verre et la tôle noire (Absorbeur) et s'échauffe.[24].

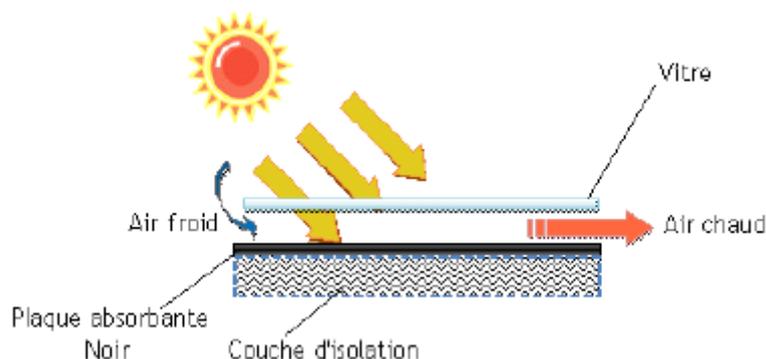


Figure (I-15) : Capteur solaire plan à aire

L'échauffement de l'air peut atteindre 20 à 40°C de plus que la température ambiante, le rendement du capteur est de l'ordre de 40 à 50 % en fonction des dimensions du capteur.

-Usage : [24]

- Le séchage agricole.
- L'habitat solaire par utilisation de l'air chaud (Mur Trombe Michel...

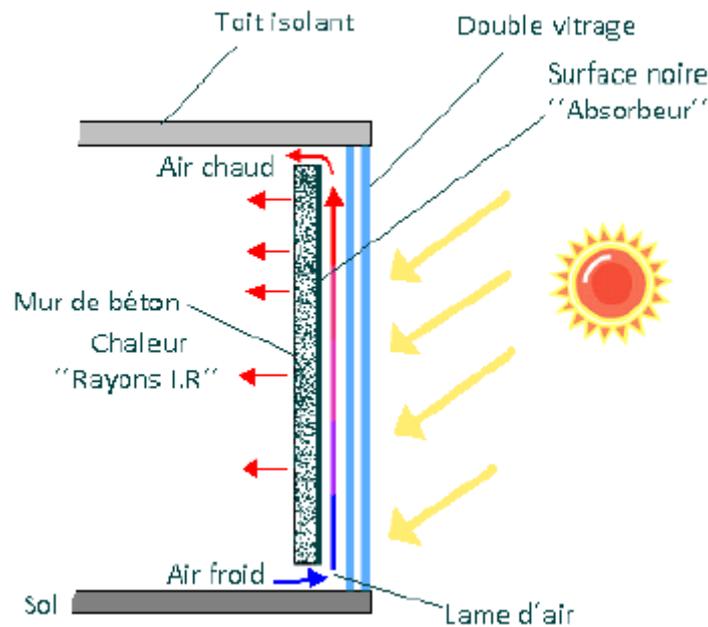


Figure (I-16) : Capteur solaire à air utilisé en climatisation

I-9 Caractéristique du site d'installation du capteur solaire a air

I-9-1 site d'emplacement « Bouira »:

Le lieu d'emplacement du capteur solaire à air objet d'étude est la ville de Bouira. C'est une commune algérienne, située dans la région Nord - Centre du Pays. issue du découpage administratif de 1974, La wilaya compte une population de 820 050 habitants au 31/12/2017. Elle entourée des chaînes montagneuses du Durdjura et des Bibans, elle est délimitée :

- Au nord par les deux wilayas de Boumerdès et de Tizi Ouzou ;
- A l'est par les deux wilayas de Béjaïa et de Bordj Bou Arréridj ;
- Au sud par la wilaya de M'Sila ;
- A l'ouest par les deux wilayas de Blida et de Médéa. [26].

Hauteur : 525 m Min. 500 m Max. 970 m

Latitude : 36°22'29" Nord

Longitude : 3°54'07" Est

L'altitude par rapport au niveau de la mer : 519 m

I.9.2 Le climat:

Bouira est une ville qui appartient à la région climatique du nord de l'Algérie, le climat de cette région est typiquement méditerranéen. Il est chaud et sec en été, froid et pluvieux en hiver. La pluviométrie moyenne est de 660 mm/an au nord et de 400 mm/an dans la partie sud. Les températures varient entre 20 et 40 °C de mai à septembre et de 2 à 12 °C de janvier à mars.[26].

I.9.3 La température: La saison très chaude dure 2,8 mois, du 19 juin au 12 septembre, avec une température quotidienne moyenne maximale supérieure à 28 °C. Le jour le plus chaud de l'année est le 4 août, avec une température moyenne maximale de 32 °C et minimale de 19 °C. La saison fraîche dure 4,1 mois, du 20 novembre au 24 mars, avec une température quotidienne moyenne maximale inférieure à 16 °C. Le jour le plus froid de l'année est le 20 janvier, avec une température moyenne minimale de 3 °C et maximale de 12 °C [27].

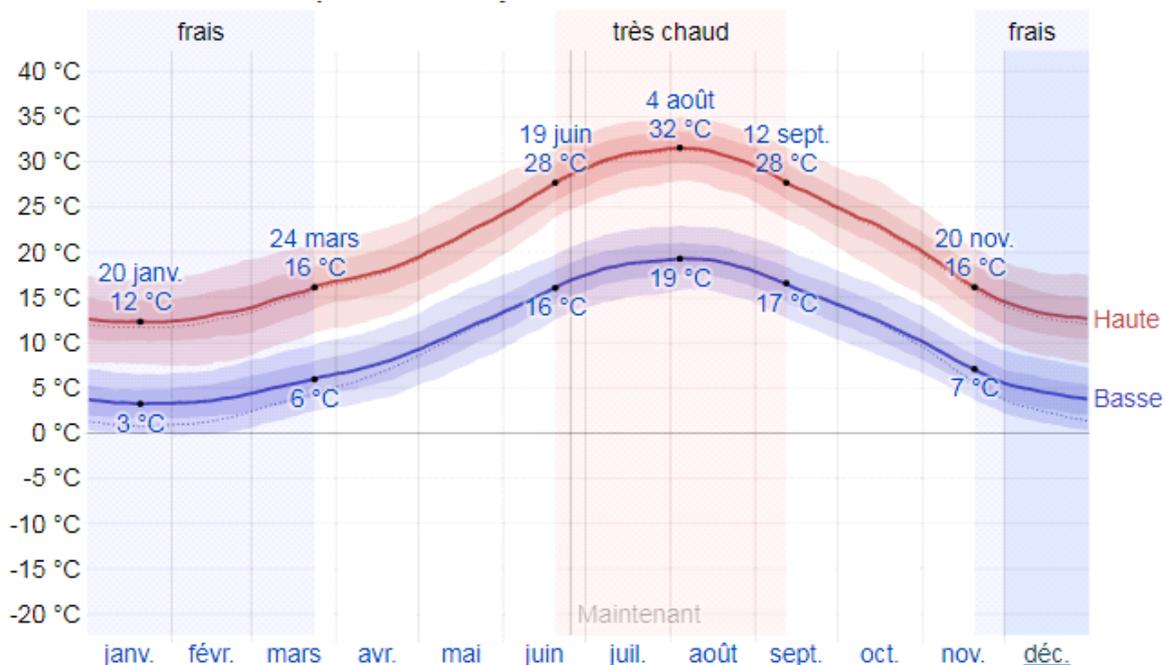


Figure (I-18): Température moyenne maximale et minimale

I.9.5 Le rayonnement solaire:

-La période la plus lumineuse de l'année dure 3,3 mois, du 8 mai au 19 août, avec un rayonnement solaire incident en ondes courtes par mètre carré supérieur à 6,8 kWh.

- Le jour le plus lumineux de l'année est le 10 juillet, avec une moyenne de 7,9 kWh.

-La période la plus sombre de l'année dure 3,4 mois, du 31 octobre au 11 février, avec un rayonnement solaire incident en ondes courtes par mètre carré inférieur à 3,4 kWh. Le jour le plus sombre de l'année est le 19 décembre, avec une moyenne de 2,3 kWh [27].

I.9.6 Le vent:

-La période la plus venteuse de l'année dure 5,6 mois, du 23 octobre au 12 avril, avec des vitesses de vent moyennes supérieures à 9,6 kilomètres par heure. Le jour le plus venteux de l'année est le 27 décembre, avec une vitesse moyenne du vent de 11,2 kilomètres par heure.

-La période la plus calme de l'année dure 6,4 mois, du 12 avril au 23 octobre. Le jour le plus calme de l'année est le 10 juin, avec une vitesse moyenne horaire du vent de 8,0 kilomètres par heure.[27].

Chapitre II : Description paramètre de conception du Capteur Solaire à aire

2.1 Définition :

Les capteurs solaires plans à air transforment l'énergie radiante du soleil en énergie thermique extraite par l'air en écoulement dans le capteur. Cette énergie est utilisée dans différentes applications solaires, comme par exemple, le séchage des grains ou du bois, le chauffage des locaux industriels ou à usage d'habitation, ainsi que dans la réfrigération solaire [28].

2.2 Les composantes d'un capteur solaire à air :

Un capteur solaire plan est généralement composé d'une plaque absorbante (absorbeur), d'un coffre, d'un vitrage et d'une isolation,

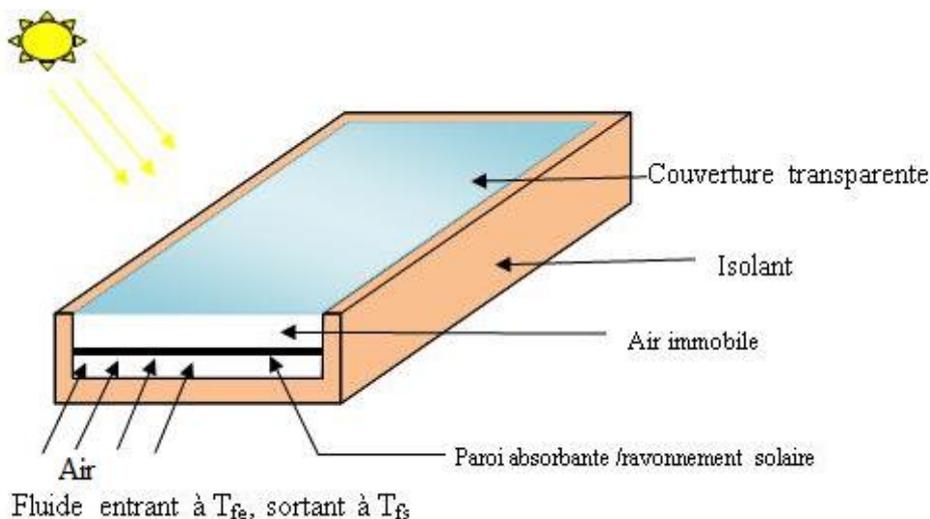


Figure (II.1) Composants d'un capteur solaire plan a air

2.2.1 Absorbeur :

L'absorbeur est l'un des éléments les plus importants d'un capteur thermique; il convertit le rayonnement solaire en chaleur. L'absorbeur se caractérise par deux paramètres:

- Facteur d'absorption solaire α^* (ou absorptivité): le rapport du rayonnement lumineux absorbé par le rayonnement lumineux incident;
- Facteur d'émission infrarouge ε (ou émissivité): le rapport entre l'énergie rayonnée dans l'infrarouge lorsque l'absorbeur est chaud et celle qu'un corps noir rayonnerait à la même température.

Dans les applications de chauffage solaire, on cherche à obtenir le meilleur rapport facteur d'absorption solaire / facteur d'émission infrarouge. Ce rapport est appelé sélectivité.

Le matériau constituant l'absorbeur est en règle générale en cuivre ou aluminium mais aussi parfois en matière plastique. Afin d'obtenir un meilleur rendement, certains systèmes sont donc constitués d'un revêtement particulier.

Voici les propriétés de quelques matériaux utilisés comme absorbeurs [29] :

Tableau II.1. Propriétés de quelques matériaux utilisés comme absorbeurs

Matériau	Facteur d'absorption α^*	Facteur d' emission ϵ	Sélectivité α^* / ϵ	Temperature max
Black nickel	0,88 - 0,98	0,03 - 0,25	3,7 – 32	300°C
Graphitic films	0,876 - 0,92	0,025 - 0,061	14,4 - 36,8	250°C
Black copper	0,97 - 0,98	0,02	48,5 – 49	250°C
Black chrome	0,95 - 0,97	0,09 - 0,30	3,2 - 10,8	350 - 425°C

2.2.2 Fluides caloporteurs (Air) :

Le fluide caloporteur qui permet d'évacuer la chaleur emmagasinée par l'absorbeur est de l'air atmosphérique, il transmette la chaleur récupéré là où elle doit être consommée.

Tableau II.3. Caractéristique de l'air

<i>Caractéristique de l'air</i>	<i>Symbole</i>	<i>Unité</i>	<i>Valeur</i>
Conductivité thermique a 283K et 1bar	k	W/m.K	0.253
Chaleur spécifique a p = Cste	Q	W	/
densité	d	/	/

2.2.3 Vitrage :

Le vitrage permet de protéger l'intérieur du capteur contre les effets de l'environnement et d'améliorer le rendement du système par effet de serre. Si l'on souhaite un vitrage efficace, il doit posséder les propriétés suivantes:

- Réfléchir le rayonnement lumineux au minimum quelle que soit son inclinaison;
- Absorber le rayonnement lumineux au minimum
- Avoir une bonne isolation thermique en gardant le rayonnement infrarouge au maximum;
- Résister dans le temps aux effets de l'environnement (pluie, grêle, rayonnement solaire,...) et aux grandes variations de températures.
- Principaux vitrages utilisés pour les capteurs thermiques sont à base de verre non ferrugineux ou en verre acrylique, et souvent dotés d'un revêtement antireflet.

2.2.4 Isolants thermiques :

L'isolant thermique permet de limiter les déperditions thermiques, sa caractéristique est le coefficient de conductivité; plus il est faible meilleur est l'isolant. Les principaux matériaux utilisés pour les capteurs thermiques sont la laine de roche et de verre, des mousses de polyuréthane ou encore de la résine de mélamine. On retrouve parfois des isolants plus naturels.

Quelques isolants utilisés pour les capteurs thermiques [30].

Tableau II.2. Quelques isolants utilisés pour les capteurs thermiques

Matériau	Conductivité thermique
Laine de roche	0,032 - 0,040 W/m.K
Laine de verre	0,030 - 0,040 W/m.K
Mousses de polyuréthane (étanchéité)	0,022 - 0,030 W/m.K

2.2.5 Coffre ou la cadre

Le coffre du capteur renferme les différents actifs. Il devra donc assurer une protection efficace aux agents atmosphériques [32].

Les coffres de capteurs sont réalisés soit en fine feuille de métal (acier galvanisé, Aluminium, inox) .

Le coffre ou cadre doit permettre d'assurer sa fixation sur la couverture tout en lui Permettre de sa déplacer librement. Le vitrage est généralement posé avec un joint insensible aux rayonnements ultraviolets et avec un profile mécanique Autorisant des opérations de montage et démontage aisées des celui-ci.

2.3 Angle d'orientation et d'inclinaison : l'angle d'inclinaison d'un capteur solaire est décrit par l'azimut. [34]. Par contre l'angle d'orientation pour un capteur solaire qui ne suit pas la trajectoire apparente du soleil il est fixé à zéro c'est-à-dire plain sud.

2.4 Paramètres de conception

Après la présentation descriptive détaillé du des éléments constitue du capteur solaire a air, nous passons maintenant à l'étape de conception. Nous proposons ci-dessous tous les paramètres du capteur solaire nécessaire au calcule et vérification préalable avant le lancement dans la partie fabrication et installation. Ces paramètres son

2.4.1 Paramètres du lieu d'emplacement

- Lieu..... Bouira
- Longitude3°54'07" Est
- Latitude36°22'29" Nord
- Temps d'ensoleillement max..... 16 heures
- Temps d'ensoleillement moyenne..... 10-11 heures
- Eclairage solaire globale moyenne..... 700 W/m²
- Température max.....40 °C - 35 °C
- Température min..... 01 °C – 03 °C
- Température moyenne..... 18 °C
- Humidité relative 63,1%
- Vitesse du vent moyenne1.2 m/s

2.4.2 Orientation et inclinaison

- Orientation Plain sud

- Inclinaison..... 36°

2.4.3 Dimension du capteur

- Matière de l'absorbeur Cuivre
- Longueur de l'absorbeur..... 2 m
- Largeur de l'absorbeur 0.7 m
- Matière de l'isolation polystyrène
- Epaisseur de l'isolation..... 0,10 m
- Distance entre la vitre et l'absorbeur 0,11m

2.4.4 En cas de circulation non naturelle

- Débit de fluide caloporteur : mf $450 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
- Température d'air à l'entrée du capteur.....26°C

2.4.5 Paramètres mesuré pendant le fonctionnement du capteur solaire a air

- Température ambiante T_a (air à l'entrée du capteur)..... 26°C
- Température moyenne de l'absorbeur T_p 35°C
- Température de la couverture transparente T_c (la vitre)..... 30°C

2.5 Un dessin qui présente les dimensions nécessaire du capteur :

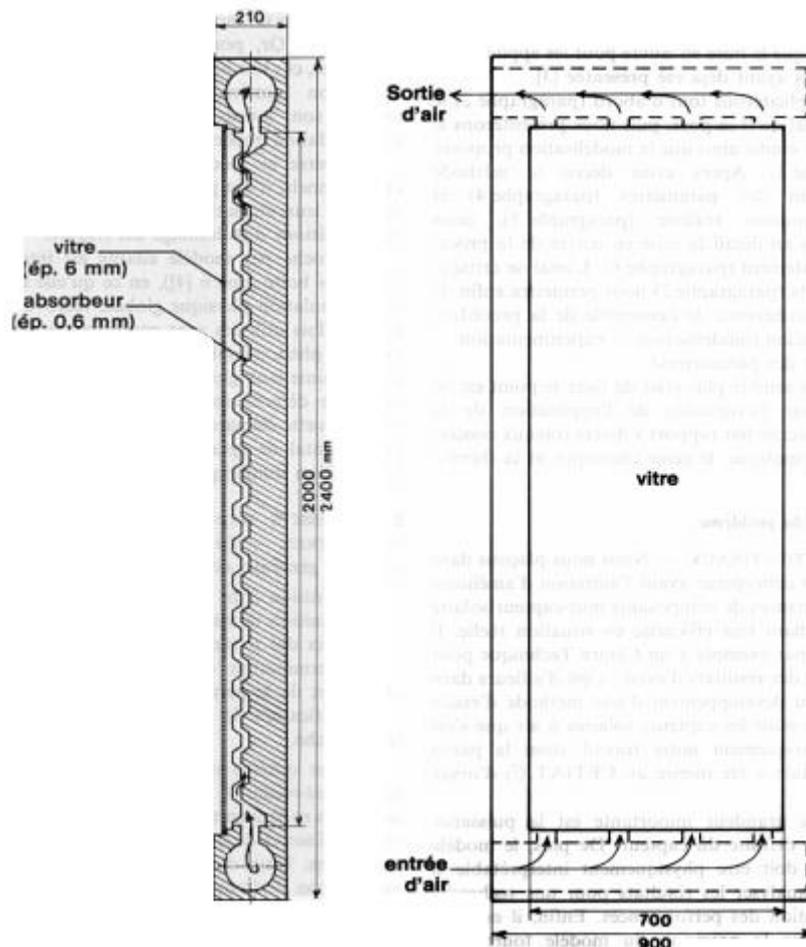


Figure (II-7) : Les dimensions du capteur.

2.6 -Principe de fonctionnement :

Un capteur solaire thermique est un échangeur de chaleur qui transforme le rayonnement solaire en énergie thermique. Le transfert thermique se fait par convection, naturelle ou forcée en fonction du système considéré grâce à un fluide caloporteur.

2.6.1 Principe de captation du rayonnement solaire :

Le capteur plan est considéré comme un simple absorbeur des rayons solaires qui les transforment en chaleur, en absorbant les rayons solaires provenant de toutes les directions . [17].

- **Corps noir** : C'est un corps ou une surface qui absorberait de façon idéale la totalité d'un rayonnement qu'il reçoit, et qui aussi, à une température donnée et pour une longueur d'onde donnée, il émettrait le maximum de flux par rayonnement. [17]

-Effet de serre

L'effet de serre est souvent mis à profit pour la conversion thermique à base de température du rayonnement solaire. On désigne normalement par "effet de serre", l'ensemble des modifications apportées à l'équilibre énergétique et thermique d'un corps récepteur (le sol par exemple), [17]

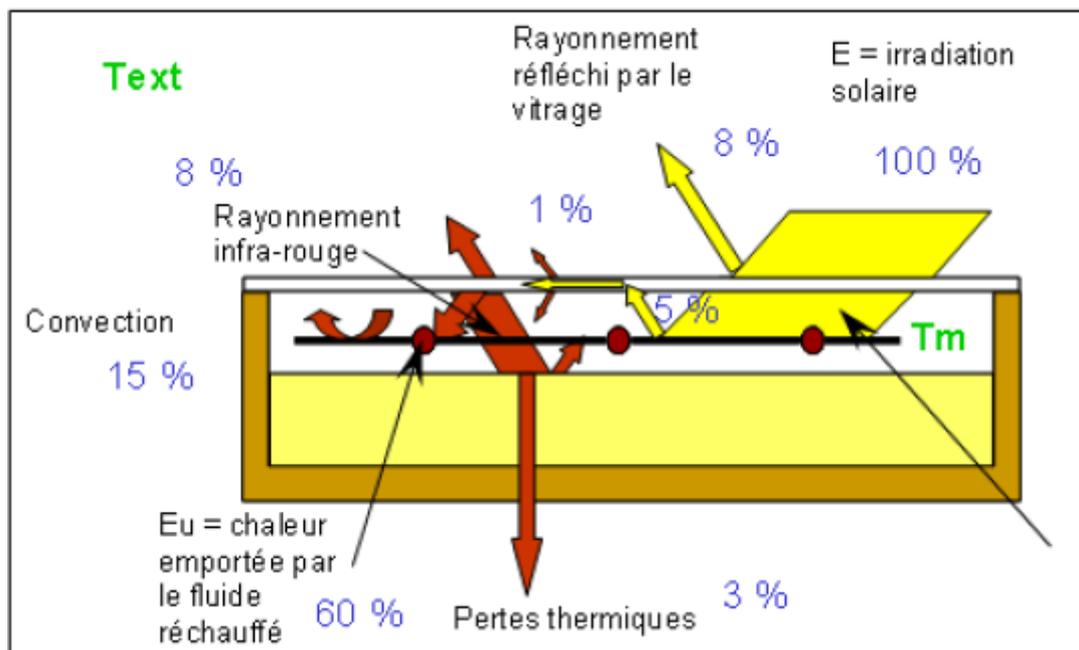


Figure (II-8): Principe de fonctionnement

2.7 Bilan thermique : Le bilan énergétique général est donnée par : pages possèdent les caractéristiques suivantes :

– Au niveau du vitrage (coté extérieur): la surface haute de la couche du verre, l'énergie reçue par la vitre étant celle des irradiations solaires plus une quantité de chaleur transmise à partir du ciel (à une certaine longueur d'onde) par rayonnement et à partir de l'air ambiant par convection (la surface interne du vitrage), on a aussi, l'échange par convection à partir de la couche d'air (gap d'air) et le vitrage:

2.7.1 Bilan thermique global :

Le bilan thermique de la paroi absorbante s'écrit :

$$\varphi_{sa} = \varphi_{p \rightarrow} + \varphi_u + \varphi_{st} \quad (\text{W}) \dots\dots\dots (2.1).$$

Où : φ_{sa} : Flux solaire absorbé .

$\varphi_{p \rightarrow}$: Flux perdu par la paroi absorbante.

φ_u : Flux utile transmis au fluide caloporteur.

φ_{st} : Flux stocké dans le capteur qui s'écrit :

$$\varphi_{st} = M_e c_{eau} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (\text{W}) \dots\dots\dots (2.2).$$

Où :

M_e : Masse en eau du capteur définie par : $\sum m_i c_i = M_e c_{eau}$, i représentant les différents éléments constitutifs du capteur .

T : Température moyenne du capteur

t : Temps.

La puissance absorbée par le capteur s'écrit :

$$\varphi_{s \rightarrow p} \approx S \tau_{cs} \alpha_{ps} G_{*(i,\gamma)} \quad (\text{W}) \dots\dots\dots (2.3) .$$

Où :

$\varphi_{s \rightarrow p}$: Flux solaire absorbé par la surface exposée (W).

$G_{*(i,\gamma)}$: Eclairement (densité de flux) solaire incident sur le capteur ($W.m^{-2}$) .

α_{ps} : Coefficient d'absorption de la paroi absorbante par rapport au rayonnement solaire .

τ_{cs} : Coefficient de transmission de la couverture transparente par rapport au rayonnement solaire.

S : Surface de la paroi absorbante.

Dans le cas où le fluide caloporteur ne subit pas de changement d'état, le flux utile s'écrit :

$$\varphi_{p \rightarrow} = q_{cf} (T_{fs} - T_{fe}) \quad (W) \dots\dots\dots (2.4).$$

Où :

q_{cf} : Débit calorifique du fluide caloporteur ($W. ^\circ C^{-1}$) = débit massique x capacité calorifique ($q_{cf} = q_m c_p$)

T_{fe} : Température du fluide caloporteur à l'entrée de l'absorbeur.

T_{fs} : Température du fluide caloporteur à la sortie de l'absorbeur.

Les déperditions thermiques du capteur sont mises sous la forme :

$$\varphi_{p \rightarrow} = h_p (T_{pm} - T_a) S \quad (W) \dots\dots\dots (2.5) .$$

Où :

h_p : Coefficient global de pertes du capteur

T_{pm} : Température moyenne de la paroi absorbante

T_a : Température de l'air extérieur.

2.7.2 Rendements d'un capteur solaire :

Les rendements d'un capteur sont définis par rapport au flux solaire incident de la manière suivante :

- Le rendement global :
$$\eta = \frac{\varphi_u}{G^*(i,\gamma) S} \dots\dots\dots (2.6) .$$

- Le rendement interne :
$$\eta_i = \frac{\varphi_u}{\varphi_{s \rightarrow p}} \dots\dots\dots (2.7) .$$

- Le rendement optique :
$$\eta_0 = \frac{\varphi_{s \rightarrow p}}{G^*(i,\gamma) S} \dots\dots\dots (2.8) .$$

On définit également des rendements moyens sur une période donnée (jour, mois, année). Pour ce faire, on intègre la relation du bilan (3.1) sur la période choisie :

$$\int_0^t \varphi_{s \rightarrow p} dt = \int_0^t \varphi_u dt + \int_0^t \varphi_{p \rightarrow} dt , \text{ soit : } \varphi_{s \rightarrow p} = \varphi_u + \varphi_{p \rightarrow} .$$

On définit alors les rendements global η , interne η_i et optique η_0 moyens du capteur sur la période considérée par :

$$\eta = \frac{\varphi_u}{\int_0^t G^*(i,\gamma) S dt} \dots (2.9) , \eta_i = \frac{\varphi_u}{\varphi_{sa}} ..(2.10) , \eta_0 = \frac{\varphi_{sa}}{\int_0^t G^*(i,\gamma) S dt} \dots (2.11).$$

Ces rendements sont à considérer lors d'un calcul de dimensionnement d'un capteur solaire. Il ne faut pas les confondre avec les rendements instantanés qui sont toujours plus élevés (un rendement journalier moyen tient compte du refroidissement nocturne par exemple).

2.8 Bilans thermiques des différents constituants :

2.8.1 Capteur solaire couvert de type 1 :

Les échanges thermiques convectifs entre la paroi absorbante et l'extérieur dans un capteur solaire couvert que nous appellerons de type 1 peuvent être schématisés comme indiqué sur la figure (II-9)

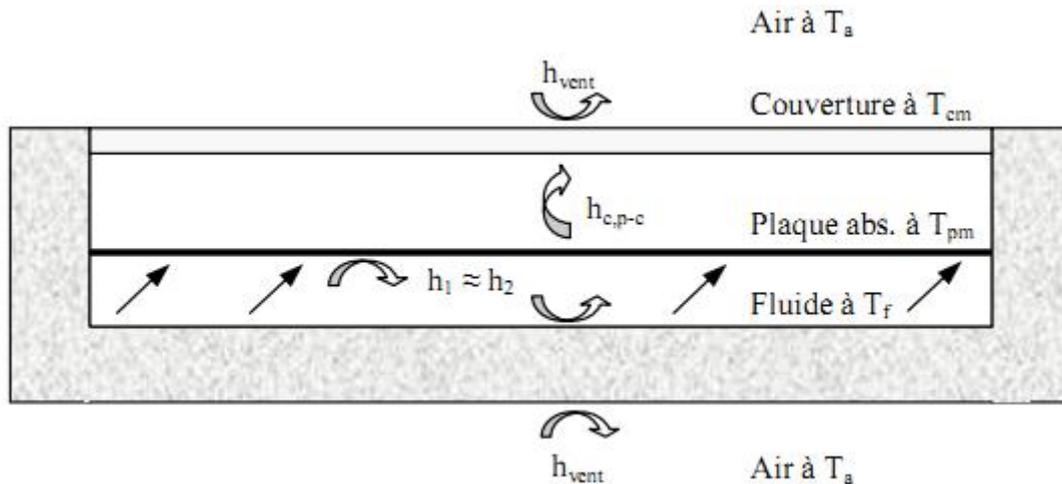


Figure (II-9) : Schématisation des flux convectifs dans un capteur couvert de type 1.

2.8.2 Hypothèses simplificatrice :

- ✓ On néglige l'inertie de l'absorbeur et du fond du capteur solaire a air
- ✓ Les champs de température T_c de la couverture, T_p de l'absorbeur et T_b du fond sont uniformes
- ✓ La couverture est opaque vis-à-vis du rayonnement IR
- ✓ La couverture, l'absorbeur et le fond sont supposés être des corps gris avec des propriétés optiques différentes vis-à-vis du rayonnement solaire dans l'intervalle $[0, 3\mu\text{m}]$ et vis-à-vis du rayonnement IR $[>3\mu\text{m}]$

2.8.3 Pertes thermiques vers le haut :

Les pertes thermiques de l'absorbeur vers le haut peuvent s'écrire :

$$\varphi^{\uparrow} = \varphi_{c,p-c} + \varphi_{r,p-c} = \varphi_{c,c-a} + \varphi_{r,c-a} - \varphi_{s \rightarrow c}$$

Où :

$\varphi_{c,p-c}$: Flux échangé par convection-conduction entre la paroi absorbante et la couverture.

$\varphi_{r,p-c}$: Flux échangé par rayonnement entre la paroi absorbante et la couverture.

$\varphi_{c,c-a}$: Flux échangé par convection entre la couverture et l'air extérieur.

$\varphi_{r,c-a}$: Flux échangé par rayonnement entre la couverture et le milieu extérieur.

$\varphi_{s \rightarrow c}$: Flux solaire absorbé par la couverture transparente.

Chacun de ces flux peut s'exprimer de la manière suivante :

- $\varphi_{c,p-c} = h_{c,p-c} (T_p - T_c) S$

Où : $h_{c,p-c}$ est le coefficient de transfert de chaleur entre deux surfaces parallèles délimitant un espace clos contenant de l'air.

- $\varphi_{r,p-c}$ peut être calculé en considérant la paroi absorbante et la couverture comme deux surfaces parallèles infinies (la distance les séparant est faible devant leur largeur et leur longueur) grises et opaques (hypothèse de la couverture opaque au rayonnement IR), ces hypothèses permettent d'écrire :

$$\varphi_{r,p-c} = \sigma \frac{T_p^4 - T_c^4}{\frac{1}{\alpha_{pi}} + \frac{1}{\alpha_{ci}} - 1} S, \text{ que l'on peut aussi écrire : } \varphi_{r,p-c} = h_{r,p-c} (T_p - T_c) S$$

$$\text{Avec : } h_{r,p-c} = \sigma \frac{(T_p^2 + T_c^2)(T_p + T_c)}{\frac{1}{\alpha_{pi}} + \frac{1}{\alpha_{ci}} - 1}$$

et :

α_{pi} : Coefficient d'absorption de la plaque par rapport au rayonnement IR .

α_{ci} : Coefficient d'absorption de la couverture par rapport au rayonnement IR.

- $\varphi_{c,c-a}$ qui dépend principalement de la vitesse du vent peut se calculer par :

$$\varphi_{c,c-a} = h_{c,c-a} (T_p - T_c) S$$

le coefficient de convection étant calculable par la corrélation suivante où u_{vent} est la vitesse moyenne du vent :

$$h_{c,c-a} = h_{vent} = 5,7 + 3,8 u_{vent}$$

$$h_{c,c-a} = h_{vent} = 5,7 + 3,8 u_{vent} \quad (\text{W.m}^{-2}.\text{°C}^{-1}) \dots (2.12)$$

$$\bullet \varphi_{r,c-a} = \sigma \alpha_{ci} (T_c^4 - \varepsilon_a T_a^4) S = \sigma \alpha_{ci} (T_c^4 - T_{ciel}^4) S$$

Où : ε_a Emissivité de l'atmosphère

T_{ciel} : Température équivalente du ciel.

T_c : Température moyenne de la couverture.

On peut le mettre sous la forme :

$$\varphi_{r,c-a} = \sigma \alpha_{ci} (T_c^4 - \varepsilon_a T_a^4) S = \sigma \alpha_{ci} (T_c^4 - T_{ciel}^4) S$$

Ou encore :

$$\varphi_{r,c-a} = h_{r,c-a} (T_c - T_a) S \quad , \text{ avec } h_{r,c-a} = \frac{\alpha_{ci} (T_c^4 - \varepsilon_a T_a^4)}{T_c - T_a}$$

$$\bullet \varphi_{s \rightarrow c} = \alpha_{cs} G_{*(i,\gamma)}$$

Le flux perdu vers le haut par la plaque absorbante peut alors s'écrire :

$$\varphi_{p\uparrow} = (h_{c,p-c} + h_{r,p-c}) (T_p - T_c) S = (h_{c,c-a} + h_{r,c-c}) (T_c - T_a) S - \alpha_{cs} G_{*(i,\gamma)} S$$

Remarque : Dans le cas où $\alpha_{cs} \approx 0$ (cas du verre), on obtient l'expression simplifiée suivante :

$$\varphi_{p\uparrow} = \frac{T_p - T_a}{\frac{1}{h_{c,p-c} + h_{r,p-c}} + \frac{1}{h_{c,c-a} + h_{r,c-a}}} S$$

2.8.4 Pertes thermiques vers le bas :

Les pertes thermiques du fond du capteur vers le bas peuvent s'écrire :

$$\varphi_{b\downarrow} = \frac{T_b - T_a}{\frac{e_i}{\lambda_i S} + \frac{1}{h_{vent}}} S$$

Où :

$\varphi_{c,p-b}$: Flux échangé par convection-conduction entre la paroi et le bas

$\varphi_{r,p-b}$: Flux échangé par rayonnement entre la paroi et le bas

e_i, λ_i : Epaisseur et conductivité thermique de l'isolant.

2.8.5 Pertes thermiques totales :

On obtient finalement :

$$\frac{\varphi_p}{S} = \frac{\varphi_{p\uparrow}}{S} + \frac{\varphi_{b\downarrow}}{S} = \frac{T_p - T_c}{\frac{1}{h_{c,p-c} + h_{r,p-c}}} + \frac{T_b - T_a}{\frac{e_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_{vent}}}$$

Que l'on peut mettre sous la forme : $\varphi_p = h_p (T_p - T_a) S$

$$\text{avec : } h_p = \frac{1}{T_p - T_a} \left(\frac{T_p - T_c}{\frac{1}{h_{c,p-c} + h_{r,p-c}}} + \frac{T_b - T_a}{\frac{e_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_{vent}}} \right) \dots\dots\dots(2.13)$$

Le schéma électrique équivalent des différents transferts thermiques est représenté sur la figure (II-10).

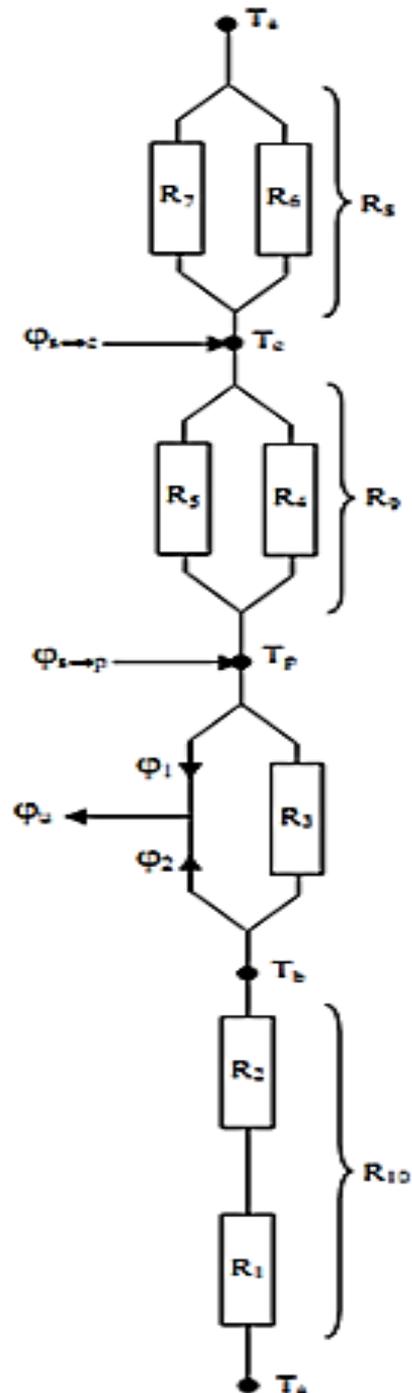


Figure (II-10) : Schéma électrique équivalent des transferts thermiques dans un capteur solaire de type 1

Les bilans thermiques aux nœuds s'écrivent :

$$\frac{\varphi_{S \rightarrow c}}{S} + \frac{T_p - T_c}{R_9} = \frac{T_c - T_a}{R_8} \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

$$\frac{\varphi_{S \rightarrow p}}{S} = \frac{T_p - T_c}{R_9} + \frac{T_p - T_b}{R_3} + \frac{\varphi_1}{S} \quad \dots\dots\dots (2.15)$$

$$\frac{T_p - T_b}{R_3} = \frac{\varphi_2}{S} + \frac{T_b - T_a}{R_{10}} \quad \dots\dots\dots (2.16)$$

Où :

$$R_1 = R_7 = \frac{1}{h_{vent}} \quad \text{avec} \quad h_{vent} = 5,7 + 3,8 u_{vent}$$

$$R_2 = \frac{e_i}{\lambda_i}$$

$$R_3 = \frac{1}{h_{r,p-b}} \quad \text{avec} \quad h_{r,p-b} = \frac{\sigma (T_p^2 + T_b^2)(T_p + T_b)}{\frac{1}{\alpha_p} + \frac{1}{\alpha_b} - 1}$$

$$R_4 = \frac{1}{h_{r,p-c}} \quad \text{avec} \quad h_{r,p-c} = \frac{\sigma (T_p^2 + T_c^2)(T_p + T_c)}{\frac{1}{\alpha_{pi}} + \frac{1}{\alpha_{ci}} - 1}$$

$$R_5 = \frac{1}{h_{c,p-c}} \quad \text{calculé par les corrélations en annexe}$$

$$R_6 = \frac{1}{h_{r,c-a}} \quad \text{avec} \quad h_{r,c-a} = \sigma \alpha_{ci} \frac{T_c^4 - \varepsilon_a T_a^4}{T_c - T_a}$$

Où :

$\varphi_{S \rightarrow c}$: Flux solaire absorbé par la couverture

$$\varphi_{S \rightarrow c} = \alpha_{cs} S \phi_S$$

$\varphi_{S \rightarrow p}$: Flux solaire absorbé par l'absorbeur

$$\varphi_{S \rightarrow p} = \alpha_{ps} S \phi_S$$

φ_1 : Flux de chaleur cédé par convection au débit d'air par l'absorbeur

φ_2 : Flux de chaleur cédé par convection au débit d'air par le fond du capteur

u_{vent} : vitesse du vent ($m.s^{-1}$)

e_i : Epaisseur du fond du capteur (m)

λ_i : conductivité thermique du fond du capteur ($W.m^{-1}.K^{-1}$)

Chapitre III : Calcule des paramètres du capteur solaire à air

3.1. Introduction

Le calcul des paramètres du capteur solaire à air se fait en suivant les formules décrites dans la partie précédente du bilan thermique. Les étapes à suivre se réalisent selon les données existantes enregistrées dans la partie paramètres de conception. Dans cette dernière on a ajouté la 6^{ème} partie qui contient des paramètres mesurés d'un capteur en fonctionnement pour faciliter les calculs.

3.2. Calcul des paramètres du capteur

3.2.1. Calcul de la puissance absorbée par le capteur $\varphi_{s \rightarrow p}$:

Formule utilisée (2.3), On a :

- $S = 2,6 \text{ m}^2$ Surface du capteur
- $\tau_{cs} = 0,85$ Coefficient de transmission du verre
- $\alpha_{ps} = 0,9$ Coefficient d'absorption de l'absorbeur
- $G_{*(i,\gamma)} = 700 \text{ W/m}^2$ Eclairement solaire moyen

Donc :

$$\varphi_{s \rightarrow p} = 2,6 \times 0,85 \times 0,9 \times 700 = 1392,3 \text{ W}$$

3.2.2. Calcul des coefficients de perte de chaleur vers le haut :

Formule utilisée

$$\varphi_{p \uparrow} = (h_{c,p-c} + h_{r,p-c}) (T_p - T_c) S = (h_{c,c-a} + h_{r,c-c}) (T_c - T_a) S - \alpha_{cs} G_{*(i,\gamma)} S$$

On a :

- $\alpha_{pi} = 0,9$ Coefficient d'absorption de la plaque par rapport au rayonnement
- $\alpha_{ci} = 0,88$ Coefficient d'absorption de la vitre par rapport au rayonnement
- $T_p = 35^\circ\text{C}$ Température moyenne de l'absorbeur
- $T_c = 30^\circ\text{C}$ Température de la couverture transparente
- $T_a = 26^\circ\text{C}$ Température équivalente du ciel
- $u_{vent} = 0,83 \text{ m.s}^{-1}$ Vitesse moyenne de vent
- $\sigma = 5,670 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ Taux d'ensoleillement
- $\alpha_{cs} = 0,08$

1/ Calcul de $\varphi_{c,p-c}$ par la formule $\varphi_{c,p-c} = h_{c,p-c} (T_p - T_c) S$

Pour calculer $h_{c,p-c}$

En régime laminaire :

$$h_{c,p-c} = 1,42 \left(\frac{\Delta\theta}{L} \right)^{1/4}$$

En régime turbulent

$$: h_{c,p-c} = 1,3 (\Delta\theta)^{1/3}$$

Donc :

$$h_{c,p-c} = 1,42 \left(\frac{T_p - T_c}{L} \right)^{1/4}$$

$$h_{c,p-c} = \mathbf{1,78 \text{ W.m}^{-2} . \text{k}^{-1} \text{ Cas laminaire}}$$

Et

$$h_{c,p-c} = 1,3 (T_p - T_c)^{1/3}$$

$$h_{c,p-c} = \mathbf{2,22 \text{ W.m}^{-2} . \text{k}^{-1} \text{ Cas turbulent}}$$

Alors

$$\text{En régime laminaire } \varphi_{c,p-c} = \mathbf{23,14 \text{ W.m}^{-2}}$$

$$\text{En régime turbulent } \varphi_{c,p-c} = \mathbf{28,86 \text{ W.m}^{-2}}$$

2/ Calcul $h_{r,p-c}$ par la formule : $h_{r,p-c} = \sigma \frac{(T_p^2 + T_c^2) (T_p + T_c)}{\frac{1}{\alpha_{pi}} + \frac{1}{\alpha_{ci}} - 1}$

$$h_{r,p-c} = 5,670 \cdot 400 \cdot 10^{-8} \frac{(308,15^2 + 303,15^2) (308,15 + 303,15)}{\frac{1}{0,9} + \frac{1}{0,88} - 1}$$

$$h_{r,p-c} = \mathbf{5,192 \text{ W.m}^{-2} . \text{k}^{-1}}$$

Donc :

$$\varphi_{r,p-c} = h_{r,p-c} (T_p - T_c) S = 5,192 \cdot (308,15 - 303,15) \cdot 2,6 = \mathbf{67,49 \text{ W.m}^{-2}}$$

3/ Calcul $h_{c,c-a}$ par la formule :

$$h_{c,c-a} = h_{vent} = 5,7 + 3,8 u_{vent}$$

$$h_{c,c-a} = 5,7 + 3,8 \cdot 0,83$$

$$h_{c,c-a} = \mathbf{8,85 \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{k}^{-1}}$$

Donc :

$$\varphi_{c,c-a} = h_{c,c-a} (T_p - T_c) S = 8,85 \cdot (35 - 30) \cdot 2,6 = \mathbf{115 \text{ W.m}^{-2}}$$

4/ Calcul $\varphi_{r,c-a}$

A partir de la formule suivante :

$$\varphi_{r,c-a} = \sigma \alpha_{ci} (T_c^4 - T_{ciel}^4) S$$

$$\varphi_{r,c-a} = 5,670 \cdot 10^{-8} \cdot 0,88 \cdot (303,15^4 - 299,15^4) \cdot 2,6$$

$$\varphi_{r,c-a} = \mathbf{64,42 \text{ W.m}^{-2}}$$

Donc :

De même on calcule le coefficient $h_{r,c-a}$ par la formule $\varphi_{r,c-a} = h_{r,c-a} (T_c - T_a) S$:

$$h_{r,c-a} = \frac{\varphi_{r,c-a}}{(T_c - T_a) S} = \frac{64,42}{(303,15 - 299,15) \cdot 2,6} = \mathbf{6,19 \text{ W.m}^2 \cdot \text{k}}$$

5/ Calcul $\varphi_{s \rightarrow c}$ par la formule $\varphi_{s \rightarrow c} = \alpha_{cs} G_{(i,\gamma)}$

$$\varphi_{s \rightarrow c} = 0,08 \cdot 700$$

$$\varphi_{s \rightarrow c} = \mathbf{56 \text{ W.m}^{-2}}$$

Donc, l'estimation des pertes de chaleur totale vers le haut s'écrit :

$$\varphi_{p\uparrow} = \varphi_{c,p-c} + \varphi_{r,p-c} = \varphi_{c,c-a} + \varphi_{r,c-a} - \varphi_{s \rightarrow c}$$

$$\varphi_{p\uparrow} = 115 + 64,42 - 56$$

$$\varphi_{p\uparrow} = \mathbf{123,42 \text{ W.m}^{-2}}$$

Dans le suivant nous représentons un résumé des calculs effectués sur les pertes des chaleurs vers le haut qui se manifeste au niveau du capteur solaire à air.

Tableau (III-1) résumé du calcul des pertes thermique

<i>Les pertes thermiques vers le haut</i>	<i>Symboles</i>	<i>Variations</i>	<i>Unités</i>
Flux échangé par convection-conduction entre la paroi absorbante et la couverture	$\varphi_{c,p-c}$	23,14	$W.m^{-2}$
Flux échangé par rayonnement entre la paroi absorbante et la couverture	$\varphi_{r,p-c}$	67.49	$W.m^{-2}$
Flux échangé par convection entre la couverture et l'air extérieur.	$\varphi_{c,c-a}$	115	$W.m^{-2}$
Flux échangé par rayonnement entre la couverture et le milieu extérieur	$\varphi_{r,c-a}$	64,42	$W.m^{-2}$
Flux solaire absorbé par la couverture transparente.	$\varphi_{s \rightarrow c}$	56	$W.m^{-2}$
Le flux perdu vers le haut par la plaque absorbante	$\varphi_{p \uparrow}$	123,42	$W.m^{-2}$

Remarque :

1) Dans le cas où $\alpha_{cs}=0$

$$\varphi_{p \uparrow} = \frac{T_p - T_a}{\frac{1}{h_{c,p-c} + h_{r,p-c}} + \frac{1}{h_{c,c-a} + h_{r,c-a}}} S$$

Selon le régime d'écoulement :

- Cas laminaire

$$\varphi_{p \uparrow} = \frac{308,15 - 299,15}{\frac{1}{1,78 + 5,192} + \frac{1}{8,85 + 6,19}} 2,6 = 111,5 W.m^{-2}$$

- Cas Turbulent

$$\varphi_{p \uparrow} = \frac{308,15 - 299,15}{\frac{1}{2,22 + 5,192} + \frac{1}{8,85 + 6,19}} 2,6 = 116,18 W.m^{-2}$$

2) A cause du faible vitesse d'écoulement de l'air dans le capteur solaire a air le régime d'écoulement est généralement prise dans les calculs comme laminaire

6/ Calcul du coefficient de perte de chaleur totale globale vers le haut

On utilise la formule suivante

$$h_{p\uparrow} = \frac{1}{\frac{1}{h_{c,p-c} + h_{r,p-c}} + \frac{1}{h_{c,c-a} + h_{r,c-a}}}$$

On a déjà calculé les coefficients ;

- $h_{c,p-c} = 1,78 \text{ W.m}^{-2} . \text{k}^{-1}$
- $h_{r,p-c} = 5,192 \text{ W.m}^{-2} . \text{k}^{-1}$
- $h_{c,c-a} = 8,85 \text{ W.m}^{-2} . \text{k}^{-1}$
- $h_{r,c-a} = 6,19 \text{ W.m}^2 . \text{k}$

Donc

$$h_{p\uparrow} = 4,76 \text{ W.m}^{-2} . \text{k}^{-1}$$

Résumé des calculs dans le tableau suivant :

Tableau (III-2) Résumé du calculs des coefficients de transfert de chaleur

<i>Coefficient de transfert de chaleur</i>	<i>Symboles</i>	<i>Variations</i>	<i>Unités</i>
Coefficient de transfert de chaleur par convection	$h_{c,p-c}$	1,78	$\text{W.m}^{-2} . \text{k}^{-1}$
Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement	$h_{r,p-c}$	5,192	$\text{W.m}^{-2} . \text{k}^{-1}$
Coefficient de transfert de chaleur par convection	$h_{c,c-a}$	8,85	$\text{W.m}^{-2} . \text{k}^{-1}$
Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement	$h_{r,c-a}$	6,19	$\text{W.m}^{-2} . \text{k}^{-1}$
Coefficient global de pertes	$h_{p\uparrow}$	4,76	$\text{W.m}^{-2} . \text{k}^{-1}$

3.2.3. Calcul des coefficients de perte de chaleur vers le bas :

Formule utilisé : $\varphi_{b\downarrow} = \frac{T_b - T_a}{\frac{e_i}{\lambda_i S} + \frac{1}{h_{vent}}} S = h_{pb\downarrow} (T_b - T_a) S$

1/ Calcul du coefficient de perte de chaleur vers le bas

$$h_{pb\downarrow} = \frac{1}{\frac{e_i}{\lambda_i S} + \frac{1}{h_{vent}}}$$

On a

- $h_{vent} = 5,7 + 3,8 u_{vent} = 8,85 \text{ W.m}^{-2} . \text{ k}^{-1}$
- $T_b = 28^\circ\text{C}$ Température de bas
- $e_i = 0,10 \text{ m}$ Epaisseur de la couche d'isolation bas
- $\lambda_i = 0,033 \text{ W.m}^{-1} . \text{ k}^{-1}$ Conductivité thermique de l'isolant

On calcule :

$$h_{pb\downarrow} = \frac{1}{\frac{0,1}{0,033 \cdot 2,6} + \frac{1}{8,85}}$$

$$h_{pb\downarrow} = 0,782 \text{ W.m}^{-2} . \text{ k}^{-1}$$

2/ Calcul des pertes de chaleur vers le bas

On utilise la formule suivante

$$\varphi_{b\downarrow} = h_{pb\downarrow} (T_b - T_a) S$$

Donc :

$$\varphi_{b\downarrow} = 0,782 \times (301,15 - 299,15) \times 2,6 =$$

$$\varphi_{b\downarrow} = 4,06 \text{ W.m}^{-2}$$

3.2.4 Calcul les pertes thermiques totales :

$$\text{Ou : } \varphi_p = (h_{p\uparrow} + h_{p\downarrow})(T_p - T_a)S = h_p (T_p - T_a)S$$

$$h_p = h_{p\uparrow} + h_{p\downarrow}$$

$$h_p = 5,542 \text{ W.m}^{-2} . \text{ k}^{-1}$$

Les pertes totale seront donc

On a:

- $\varphi_{b\downarrow} = 4,06 \text{ W.m}^{-2}$
- $\varphi_{p\uparrow} = 123,42 \text{ W.m}^{-2}$
- $S = 2,6 \text{ m}^2$

Donc :

Formule utilisé : $\frac{\varphi_p}{S} = \frac{\varphi_{p\uparrow}}{S} + \frac{\varphi_{b\downarrow}}{S}$

$$\frac{\varphi_p}{S} = \frac{123,42}{2,6} + \frac{4,06}{2,6}$$

$$\varphi_p = 127,48 \text{ W.m}^{-2}$$

On peut vérifier le calcul depuis la formule $\varphi_p = h_p (T_p - T_a) S$ on peut calculer h_p :

$$h_p = \frac{\varphi_p}{(T_p - T_a) S} = \frac{127,48}{13} , h_p = 9,80 \text{ W.m}^{-2} . \text{k}^{-1}$$

3.2.4 Calcul des résistances thermique $R_1 \rightarrow R_{10}$:

$$- R_1 = R_7 = \frac{1}{h_{vent}} = \frac{1}{0,83} = 1,20 \text{ W}$$

$$- R_2 = \frac{e_i}{\lambda_i} = \frac{0,1}{0,033} = 3,03 \text{ W}$$

$$- R_3 = \frac{1}{h_{r,p-b}} \text{ avec } h_{r,p-b} = \frac{\sigma (T_p^2 + T_b^2)(T_p + T_b)}{\frac{1}{\alpha_p} + \frac{1}{\alpha_b} - 1}$$

$$\text{On a : } \alpha_p = 0,9 , \alpha_b = 0,4$$

Alors

$$h_{r,p-b} = 2,45 \text{ W.m}^{-2} . \text{k}^{-1}$$

Donc

$$R_3 = 0,40 \text{ W}$$

$$- R_4 = \frac{1}{h_{r,p-c}} = \frac{1}{5,192} = 0,19 \text{ W}$$

$$- R_5 = \frac{1}{h_{c,p-c}} = \frac{1}{1,78} = 0,56 \text{ W}$$

$$- R_6 = \frac{1}{h_{r,c-a}} = \frac{1}{6,19} = 0,16 \text{ W}$$

$$- R_7 = 1,20 \text{ W}$$

On vas utiliser le **Figure (II-10)** pour calculer R_8 , R_9 , R_{10} :

On a :

$$-R_8 = R_7 + R_6 = 0,16 + 1,20 = \mathbf{1,36 \text{ W}}$$

$$-R_9 = R_4 + R_5 = 0,56 + 0,19 = \mathbf{0,75 \text{ W}}$$

$$-R_{10} = R_1 + R_2 = 1,20 + 3,03 = \mathbf{4,23 \text{ W}}$$

Résumé des calculs dans le tableau suivant :

Tableau (III-3) : Résumé des calculs des résistances thermiques

<i>Les résistances thermiques aux nœuds</i>	<i>Variations</i>	<i>Unités</i>
R_1	1,20	$W^{-1}.m^2.k^1$
R_2	3,03	$W^{-1}.m^2.k^1$
R_3	0,40	$W^{-1}.m^2.k^1$
R_4	0,19	$W^{-1}.m^2.k^1$
R_5	0,56	$W^{-1}.m^2.k^1$
R_6	0,16	$W^{-1}.m^2.k^1$
R_7	1,20	$W^{-1}.m^2.k^1$
R_8	1,36	$W^{-1}.m^2.k^1$
R_9	0,75	$W^{-1}.m^2.k^1$
R_{10}	4,23	$W^{-1}.m^2.k^1$

La quantité de chaleur utile φ_u

De la formule (2.1) du bilan thermique du capteur $\varphi_s = \varphi_u + \varphi_p$

$$\varphi_u = \varphi_s - \varphi_p$$

$$\text{On a : } \varphi_s = \varphi_{s \rightarrow c} + \varphi_{s \rightarrow p} = 56 + 1392,3 = \mathbf{1448,3 \text{ W}.m^{-2}}$$

$$\varphi_p = \mathbf{127,48 \text{ W}.m^{-2}}$$

$$\varphi_u = 1448,3 - 127,48 = \mathbf{1320,82 \text{ W}.m^{-2}}$$

3.2.5 Calcul de la température de l'air à la sortie du capteur solaire :

On utilisant la formule (2.4) dans le deuxième chapitre avec le débit d'air mesuré à l'entrée du capteur solaire est égale $450 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} = 125 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$

$$\varphi_u = q_{cf} (T_{fs} - T_{fe})$$

Avec $q_{cf} = q_m c_p$

$c_p = 1,256 \text{ kJ m}^{-3} \text{ K}$ capacité calorifique de fluide caloporteur

$$C_p = \frac{1.256}{1.292} = 0.9721 \text{ Kj/Kg. K}$$

Donc :

$$q_{cf} = 125 \times 0.9721 = 121.517 \cong 121.51$$

$$q_{cf} = 121,51 \text{ W. k}^{-1}$$

$$\text{Alors : } T_{fs} = \frac{\varphi_u}{q_{cf}} + T_{fe}$$

Donc :

$$T_{fs} = \frac{1320,82}{121,51} + 299,15 = 310,02^\circ \text{k}$$

3.2.6 Calculs rendements :

On utilise les formules (2.6) , (2.7) , (2.8) de chapitre 2 :

1/Calcul le rendement global : η

$$\eta = \frac{\varphi_u}{G^*(i,\gamma) S} = \frac{1320,82}{700 \times 2,6} = 0,7257 = 72,57\%$$

2/ calcul le rendement interne η_i :

$$\eta_i = \frac{\varphi_u}{\varphi_{s \rightarrow p}} = \frac{1320,82}{1392,3} = 0,9486 = 94,86 \%$$

3/ Calcul le rendement optique η_0 :

$$\eta_0 = \frac{\varphi_{s \rightarrow p}}{G^*(i,\gamma) \cdot S} = \frac{1392,3}{1820} = 0,765 = 76,5\%$$

Résumé de calculs des rendements dans le tableau suivant :

Tableau (III-4) calculs du rendement d'un capteur à air

<i>Les rendements</i>	<i>Symboles</i>	<i>Variations</i>		<i>Unités</i>
Le rendement interne	η_i	0,9486	94,86	%
Le rendement optique	η_0	0,765	76,5	%
Le rendement global	η	0,7257	72,57	%

3.3 Influence du débit sur la température de sortie de l'air

Afin de voir l'influence de la variation du débit massique de l'air sur les paramètres thermique de fonctionnement du capteur solaire telle que la température de l'air à la sortie du capteur et la quantité de chaleur utile φ_u récupéré à partir de l'absorbeur, nous faisons la série des calculs suivante

Tableau (III-5) Influence du débit d'air

<i>Le débit d'air</i> \dot{m}	<i>Débit calorifique</i> q_{cf}	T_{fs}		φ_u	η_i	η
$(kg.s^{-1})$	$(W.k^{-1})$	(k)	$^{\circ}C$	$(W.m^{-2})$	%	%
111,11	108,01	311,37	38,22	1319,88	94,79	72,52
118	114,7	310,66	37,51	1320,19	94,82	72,53
125	121,51	310,02	36,87	1320,82	94,86	72,57
132	128,31	309,44	36,29	1320,30	94,82	72,54
138,88	135	308,93	35,78	1320,28	94,81	72,53

Dans le tableau la température des sortie max est égale à 38.22°C pour un débit de 111.11kg/s elle est supérieur a la température de l'absorbeur $T_p = 35^{\circ}C$, cette observation ne signifier une erreur car la température de l'absorbeur mesuré représente la température moyenne c'est-à-dire la température de l'absorbeur a la sortie T_p est supérieur à 38.22°C

l'absorbeur

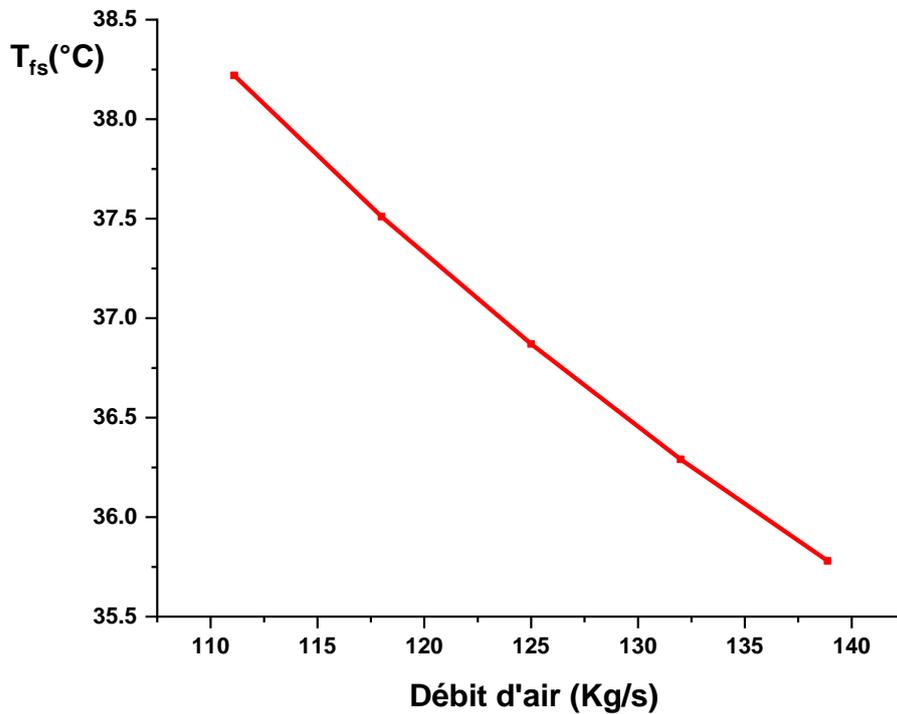


Figure (III-1) : Diagramme de température de sortie en fonction de débit d'air

La figure suivante montre la courbe de variation de température en fonction du débit d'air. On remarque que plus le débit massique de l'air augmente plus la température diminue. Ceci peut être expliqué par le temps de séjour de l'air dans le capteur solaire, c'est-à-dire plus la vitesse de l'air est faible plus il récupère de la chaleur à partir de

3.4 Comparaison entre les différents absorbeurs (cuivre et acier) :

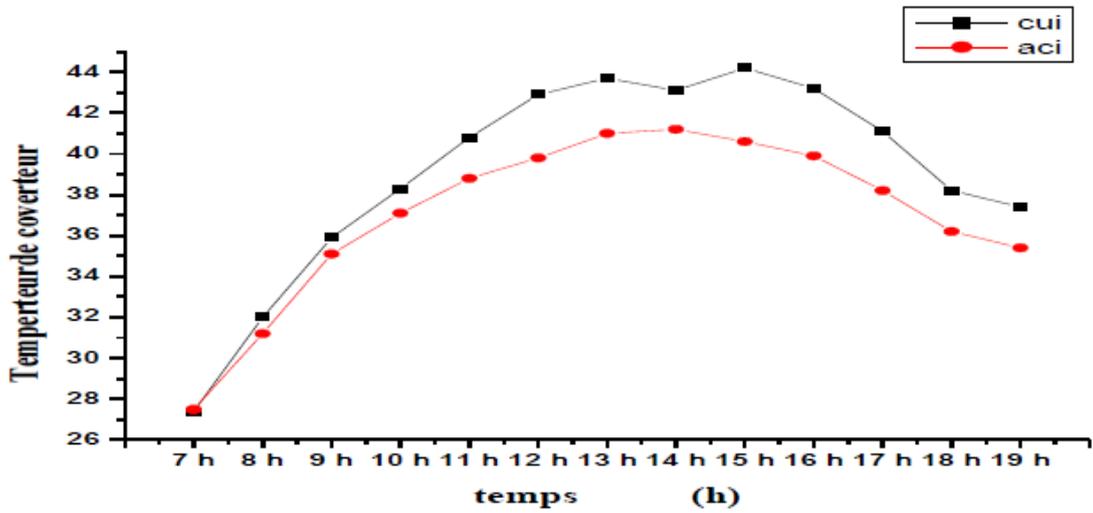


Figure (III -2) : Evolutions temporelles de la température de l'absorbeur à l'entrée du capteur

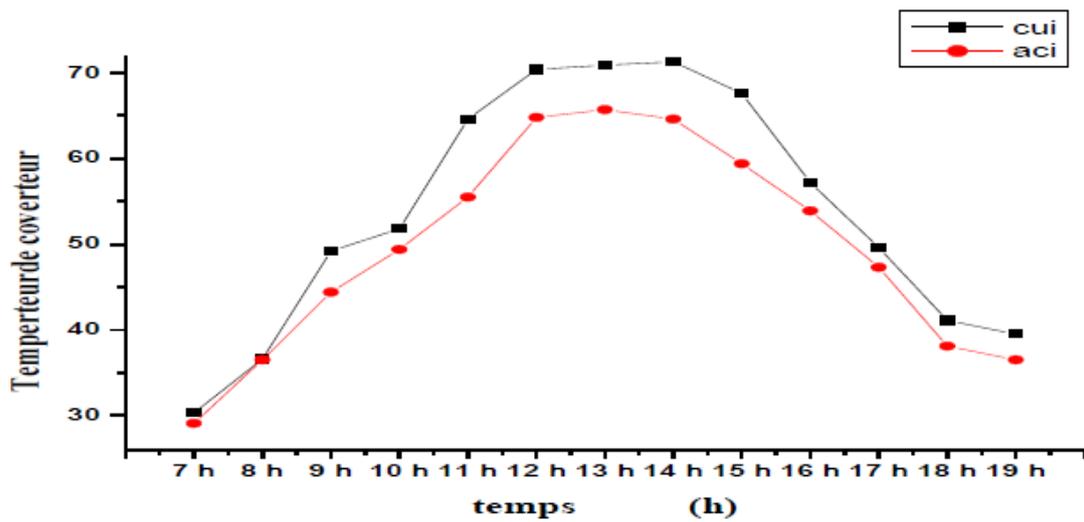


Figure (III -3) : Evolutions temporelles de la température de l'absorbeur au milieu du capteur

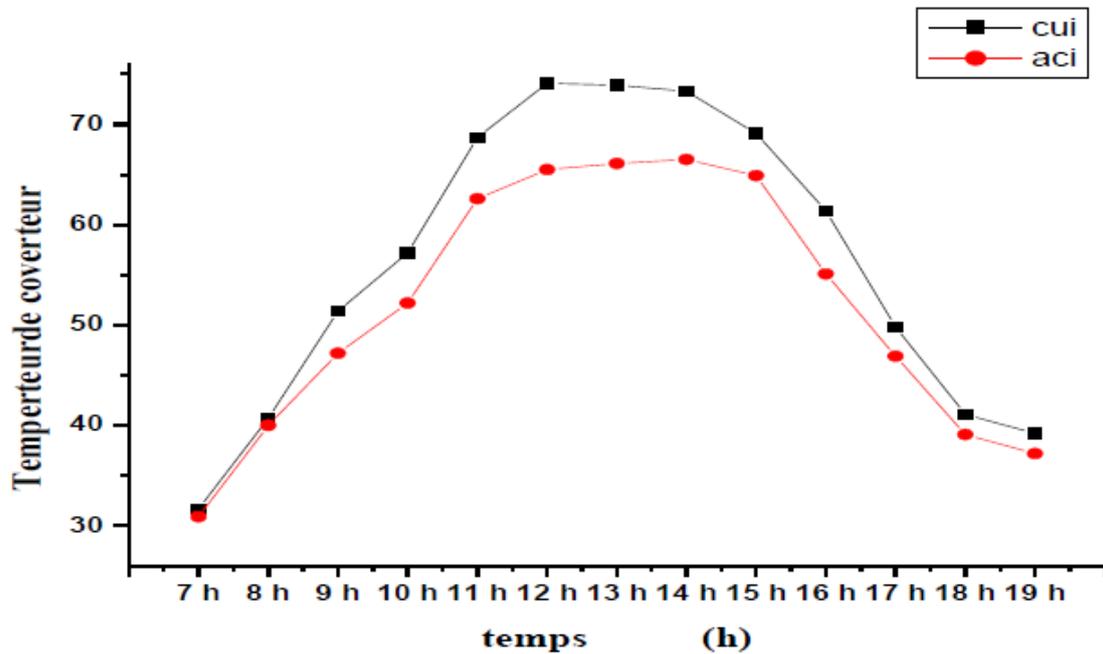


Figure (III -4) : Evolution temporelle de la température de l'absorbeur à la sortie du capteur

Les figures (III-4) illustrent un écart de température important entre le cuivre et l'acier il est resté conservé dans les trois allures précédentes, ce qui est dû à la différence de conductivité thermique de chaque matériau tel que la conductivité thermique de cuivre est très importante par rapport à l'acier.

3.5 Comparaison entre les rendements :

La figure (III -5) montre l'évolution des rendements des absorbeurs en fonction du temps, un écart important illustré entre les rendements du capteur solaire plan à air avec absorbeur en cuivre et absorbeur en acier, cet écart résulte des propriétés physiques de chaque métal qui sont différentes, en premier lieu la conductivité thermique.

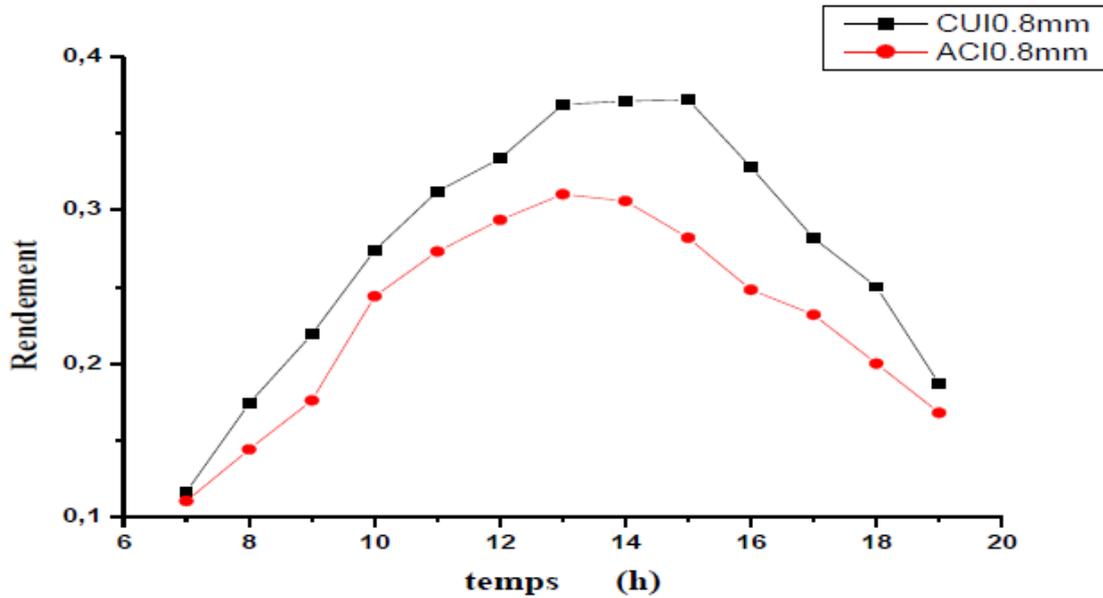


Figure (III -5) : Comparaison entre les rendements des absorbeurs

Dans la littérature, nous trouvons que le cuivre possède une conductivité multiple a celle de l’acier, comme le montre le tableau .

Le tableau montrent qu’il ya une relation entre l’écart d’efficacité et de la conductivité thermique impliquant que l’absorbeur en cuivre nous donne un capteur optimal.

	Cuivre	Acier inoxydable	Aluminium
Conductivité thermique (w/m K)	390	26	237

Tableau (III-6): Conductivité thermique (W/m/k) pour une température de 26 c°

Conclusion :

Dans cette partie et après quelques calculs des paramètres du capteur à air et des coefficients qui affectent la température finale, les pertes de chaleur vers le haut et vers le bas, ainsi que le flux utile, nous avons constaté que la vitesse du vent, la température initiale, le débit d'air et la quantité de chaleur absorbée ont un rôle important dans l'obtention de résultats presque parfaits pour les rendement, le flux utile et les températures de sortie.

Conclusion général

Conclusion general :

Une étude a été présentée sur l'énergie solaire et ses avantages en tant qu'énergie renouvelable, une revue bibliographique de l'énergie solaire, des différents modèles de transfert de chaleur, de l'effet du réchauffement climatique et de l'idée du corps noir ont été discutés, avec mention de l'emplacement de la Bouira.

L'objectif de ce travail est la conception et la réalisation d'un capteur solaire plan à air.

Une recherche de la composition optimale du capteur solaire à savoir le rayonnement solaire global, l'humidité relative de l'air et sa température qui sont incontrôlables ; mais l'étude concernant les composants du capteur solaire lui même était, pour nous, la plus bénéfique.

Nous avons trouvé que pour une meilleure efficacité du capteur, nous devons choisir une couverture en verre ordinaire de 4 mm d'épaisseur et un absorbeur en cuivre dont l'épaisseur est égale à 0,8 mm.

En regardant vers l'avenir, nous suggérons de poursuivre l'étude, visant à nouveau à atteindre le capteur avec des performances parfaites, mais cette fois à travers Apportez quelques ajustements au capteur concerné, tels que la variation d'épaisseur du verre, la zone d'absorption du verre ou l'épaisseur de l'absorbeur, et leurs effets sur les performances du capteur.

Liste des tableaux :

Tableau (II-1) Propriétés de quelques matériaux utilisés comme absorbeurs

Tableau (II-2) Quelques isolants utilisés pour les capteurs thermiques

Tableau (II-3) Les coefficients d'isolation de gaz utilisés comme isolants

Tableau (II-4) Différents types des capteurs solaires plans

Tableau (III-1) résumé du calculs des pertes thermique

Tableau (III-2) résumé du calculs des coefficients de transfert de chaleur

Tableau (III-3) résumé du calculs des résistances thermiques

Tableau (III-4) calculs du rendement d'un capteur à air

Tableau (III-5) variations des courbes

Tableau (III-6): Conductivité thermique (W/m/k) pour une température de 26 c°

Liste des figures

Figure (I-1) : Couches externe du soleil

Figure (I-2) : Mouvement annuel de la terre au tour du soleil

Figure (I-3): Sphère céleste

Figure (I-4): Rayonnement solaire reçu sur la terre

Figure (I-5) : Rayonnement Solaire Global

Figure (I-6) : Transformation des Rayonnement solaire

Figure (I-7) : Zone du monde prioritaire pour le développement de gisement solaire

Figure (I-8) : Carte du gisement solaire Algérien source CDER

Figure (I-9) : Panneau solaire thermique

Figure (I-10) : Centrales solaires thermodynamiques

Figure (I-11) : schéma-fonctionnement-panneau-solaire-photovoltaïque

Figure (I-12) : Capteur cylindro-parabolic

Figure (I-13) : Capteur solaire parabolique

Figure (I-14) : Four-solaire-table

Figure (I-15) : Capteur solaire plan à aire

Figure (I-16) : Capteur solaire à aire utilisé en climatisation

Figure (I-17): Carte interactive de la wilaya de bouira.

Figure (I-18): Température moyenne maximale et minimale.

Figure (II.1) Composants d'un capteur solaire plan

Figure (II-2): Indications des surfaces de capteur

Figure (II-3) : capteur solaire non vitre

Figure (II-4) : capteur solaire vitré

Figure (II-5) : capteur solaire vitré a sous vide4

Figure (II-6): Schématisation de principe de captation du rayonnement solaire

Figure (II-7) : Les dimensions du capteur

Figure (II-8): Principe de fonctionnement.

Figure (II-9) : Schématisation des flux convectifs dans un capteur couvert de type 1

Figure (II-10) : Schéma électrique équivalents des transferts thermiques dans un capteur solaire de type 1

Figure (II-11) : thermomètre digital

Figure (II-12). Photo de l'Héliographe

Figure (II-13) Station météorologique

Figure (III-1) : Diagramme de température de sortie en fonction de débit d'air

Figure (III -2) : Evolutions temporelles de la température de l'absorbeur à l'entrée du capteur

Figure (III -3) : Evolutions temporelles de la température de l'absorbeur au milieu du capteur

Figure (III -4) : Evolution temporelle de la température de l'absorbeur à la sortie du capteur

Figure (III -5) : Comparaison entre les rendements des absorbeurs

Référence bibliographique :

[1] http://www.rtl.be/info/belgique/sectionmeteo/802497/m-t-o-o-est-le-soleilo_juin_2011 visité le : 10/6/2020

[2] http://www.neufplanetes.org/systeme_solaire/earth.html_juin_2011 visité le
visité le : 14/06/2020

[3] Droui Beikacern, Fezzioui Naima, Energie solaire et capteur solaires, Centre
Universitaire de Béchar 2001.

[4] [https://lenergie-solaire.net>Définitions>Rayonnement solaire.](https://lenergie-solaire.net/Définitions>Rayonnement_solaire)
visité le 14/06/2020

[5] http://www.solimp-be.net/solimp_tech.htm_juin_2011
visité le 14/06/2020

[6] AZZI, « Cours : Energie Solaire », Université ABOU-BEKR BELKAID Tlemcen.
2013

[7] A.SFEIR et G. GUARRACINO,« Ingénierie des systèmes solaires »,Technique et
Documentation. Paris.1981

[8]A. DEGIONANNI, « Techniques de l'ingénieur », Conduction, BE8200.1981

[9] J. P. Petit, « Techniques de l'ingénieur, notions de transferts thermiques par
convection », A1540. 1979

[10] J. BONAL et P.ROSSETTI, « Les énergies alternatives », Omniscience. 2007

[11]D. K.EDWARDS,« Capteurs solaires», Edition SCM. Paris.1979

[12] dspace.univ-tlemcen.dz › Analyse-des-pertes-thermiques

[13] www.algerie.eco-contributions visité le 16/06/2020

[14] c-r-e.fr › guide › comment-fonctionne-énergie-solaire

[15] www.exploreurs-energie.com visité le 16/06/2020

[16] www.mtaterre.fr visité le 16/06/2020

[17] A.Mefti M.Y. Bouroubi, Evaluation du potentiel énergétique solaire, Equipe de Recherche Chargé de Recherche.

[18] Les Centrales Solaires à Concentration Université de Liège Faculté des sciences appliquées Mai 2007 Quoilin Sylvain Ingénieur Civil Electromécanicien/Energéticien

[19] guezza Med lazhar, impact de l'espace entre la vitre de protection et la vitre intermédiaire sur le rendement du capteur plan à double vitrage, mémoire magister université d'Ouargla

[20] f.baudoin, M .lavabre, Capteurs ; principe et utilisation.

[21] Bouzaffa Med, Les Capteurs Solaires Plans, mémoire magister, option énergétique

[22] projet de physiques P6-3 STPI/P6-3/2011

[23] <http://fr.solarpedia.net/> visité le :17/06/2020

[24] mémoire de magister de Mr Bouragbi Lakhdar

[25] https://www.voyagesphotosmanu.com/climat_algerie.html visité le 25/06/2020.

[26] <http://www.dsp-bouira.dz/index.php/fr/presentation-de-la-wilaya-3> visité le 25/06/2020.

[27] <https://fr.weatherspark.com/> visité le 25/06/2020 .

[28] S. OUDJEDI, « Etude paramétrique d'un capteur solaire plan à air destiné au séchage », Revue des Energies Renouvelables SMSTS'08 . PP 255-266.Alger. 2008.

[29] KENNEDY.C.E, « To high temperature solar selective absorber materials », United states:n.P.2002

[30] Isolation par comprendre choisir.com-les différents types d'isolant thermique

Visité le 20/07/2020

[31] C. SCHITTICH et D. DEBORD, « construire en verre, PPUR presses

polytechniques», ISBN.2-88074-4741,P119.2001

[32] Etude expérimentale d'un bassin d'eau utilisé comme capteur solaire plan présent

par Abdelaoui Med Khimmusti et Guricha Foud thème d'ingénieur d'état université de Ouargla

[33] <https://www.quelleenergie.fr/economies-energie/aerovoltaique/capteurs-solaires-air> visité le 23/07/2020

[34] Sotehi Oualid, étude et analyse de l'influence de l'écart de température (absorbeur

– vitre) sur l'efficacité d'un capteur solaire, mémoire MAGISTER, Batna juin 2007.

[35] Sodani Mohamed el bar, étude théorique d'un capteur cylindro-parabolique,

mémoire d'ingénieur d'état Université de Ouargla, juin 2008.

[36] <https://panneau-solaire.ooreka.fr/panneau-Solaire/capteur-thermique> visité

23/07/2020

[37]A. AHMED-ZAÏD, A. MOULLA, M. S. HANTALA ET J.Y. DESMONS «

Amélioration des Performances des Capteurs Solaires Plans à Air:Application au

Séchage de l'Oignon Jaune et du Hareng », Rev. Energ. Ren. Vol.4, PP 69-78. 2001

[38]A. Ahmed-SAID et al, « Amélioration des Performances des Capteurs Solaires

Plans à Air: Application au Séchage de l'Oignon Jaune et du Hareng »,Rev.

Energ.Ren. Vol.4 .2001

[39] F. BENYELLES, B. BENABADJIA, B.BENYOUCEF et Z.ZIANI, «

Comparaison entre un capteur à aérogel de silice et d'autres capteurs plans », 13emes

Journées Internationales de Thermique.2007

[40] A.M. AMINE, « Etude numérique d'un capteur solaire plan à air influence de la forme de la rugosité», mémoire magister. Alger. 2012

[41] A. LABED et al, « Performances thermiques et pertes de charges de différentes configurations de capteurs solaires plans à air Etude expérimentale dans la région de Biskra, Algérie », Revue des Energies Renouvelables Vol. 18 N°2, PP 209 – 216.Biskra. Algérie. 2015

[42] Prasad, S.B. et al, «Investigation of heat transfer and friction characteristics of packed bed solar air heater using wire mesh as packing material», Sol. Energy, doi:10.1016/j.solener.2008.11.011. 2009

[43] F. BAGUI et H. CHAFOUK, « Etude transitoire du système solaire thermique », Revue des Energies Renouvelables CER'07 , PP 99 – 102.Oujda. 2007.

[44] Bilan énergétique : solaire thermique Yves JANNOT Mars 2011

Nomenclature

Nomenclature

m	Le numéro du mois dans l'année
N	Le numéro du jour dans le mois
(G)	la somme des rayonnements diffus et direct
q	flux de chaleur. [W]
k	coefficient de conductivité thermique. [W/m.k]
A	surface d'échange. [m^2]
q	Le flux échangé par convection. [W]
h	Coefficient de convection. . [W/ $m^2.k$]
S	Surface de la paroi solide en contact avec le fluide. . [m^2]
T_p	Température de la paroi solide. .[k]
T_f	Température du fluide. [k]
q	densité de flux de chaleur émis par le corps.
ε	émissivité thermique du matériau
σ	constante de Stefan-Boltzmann évaluée à $5,6.10^{-8}$ W/ $m^2.K^4$.
T	température absolue du corps [K]
φ_{sa}	Flux solaire absorbé .
$\varphi_{p \rightarrow}$	Flux perdu par la paroi absorbante.
φ_u	Flux utile transmis au fluide caloporteur.
φ_{st}	Flux stocké dans le capteur
M_e	Masse en eau du capteur
t	Temps
$\varphi_{s \rightarrow p}$	Flux solaire absorbé par la surface exposée (W).

Nomenclature

$G_{*(i,\gamma)}$	Eclairement (densité de flux) solaire incident sur le capteur ($W.m^{-2}$)
α_{ps}	Coefficient d'absorption de la paroi absorbante par rapport au rayonnement solaire
τ_{cs}	Coefficient de transmission de la couverture transparente par rapport au rayonnement solaire.
S	Surface de la paroi absorbante.
q_{cf}	Débit calorifique du fluide caloporteur ($W. ^\circ C^{-1}$)
h_p	Coefficient global de pertes du capteur
T_{pm}	Température moyenne de la paroi absorbante
T_a	Température de l'air extérieur
η	rendement global
η_i	rendement interne
η_0	rendement optique
α	Coefficient d'absorption
ρ	Coefficient de réflexion
τ	Coefficient de transmission
ε	Emissivité
ϕ	Flux de chaleur $W.m^{-2}$
φ	Densité de flux de chaleur $W.m^{-2}.^\circ C^{-1}$
λ	Longueur d'onde (m)
λ	Conductivité thermique $W.m^{-1}.^\circ C^{-1}$
σ	Taux d'ensoleillement

Indices :

- a Air
- b Fond du capteur
- c Couverture transparente

Nomenclature

ciel	Ciel
e	Entrée
f	fluide
p	Paroi
s	Sortie
t	Tube
u	Utile